

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОРОДСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА

*В. Ю. ЕГУПОВ*

*О. В. КИЧАЕВА*

# ***ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ***

***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ***

ХАРЬКОВ  
ХНУГХ им. А. Н. Бекетова  
2016

УДК [55:624.13](075)  
ББК 26.3я73-6  
Е31

**Авторы:**

**Егупов Вячеслав Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент;

**Кичаева Оксана Владимировна**, кандидат технических наук, доцент

**Рецензенты:**

**Винников Юрий Леонидович** – доктор технических наук, профессор, действительный член Академии строительства Украины, профессор кафедры добычи нефти и газа и геотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка;

**Стрижельчик Геннадий Георгиевич** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры геотехники и подземных сооружений Харьковского национального университета строительства и архитектуры

*Рекомендовано на заседании Ученого совета Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова,  
протокол № 2 от 25 сентября 2015 г.*

**Егупов В. Ю.**

Е31 Основы геологии и инженерной геодинамики : учеб. пособие для студ. строительных и экологических спец. вузов / В. Ю. Егупов, О. В. Кичаева ; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 273 с.

ISBN 978-966-695-398-1

В учебном пособии подробно рассматриваются основные геологические объекты, процессы и явления, их влияние на строительство, а также мероприятия и способы защиты от негативных воздействий с использованием современной базы нормативных документов.

УДК [55:624.13](075)  
ББК 26.3я73-6

ISBN 978-966-695-398-1

© В. Ю. Егупов, О. В. Кичаева, 2016  
© ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>5</b>
<b>Раздел 1. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ</b> .....	<b>7</b>
1.1 Основные сведения о Земле.....	7
1.2 Основы минералогии.....	17
1.3 Основы петрографии.....	32
1.4 Стратиграфия и геохронология.....	53
<b>Раздел 2. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b> .....	<b>65</b>
2.1 Тектоника.....	65
2.2 Магматизм и вулканы.....	80
2.3 Сейсмические явления.....	100
<b>Раздел 3. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА</b> .....	<b>116</b>
3.1 Суффозия .....	118
3.2 Карст.....	124
3.3 Склоны и виды склоновых процессов.....	145
3.4 Оползни.....	159
3.5 Селевые потоки и лахары. Снежные лавины.....	173
3.6 Эрозия горных пород и почв. Ветровая эрозия.....	186
3.7 Водная эрозия. Овраги.....	198
3.8 Речная эрозия .....	208
3.9 Абразия.....	216
3.10 Плывуны.....	227
3.11 Просадочность лессовых пород.....	235
3.12 Подрабатываемые территории.....	249
<b>Заключение</b> .....	<b>254</b>
<b>Список источников</b> .....	<b>255</b>
<b>Список иллюстраций</b> .....	<b>264</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Цель данной работы – не научить студента геологическим наукам, ведь научиться человек может только сам, а заинтересовать, увлечь, и в то же время ознакомить с базовыми понятиями и методами этих наук, с конечной целью обучения «строительному ремеслу».*

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям «Строительство» и «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование» и соответствует требованиям программы подготовки бакалавров. Оно содержит материалы, необходимые при изучении курсов «Геология с основами геоморфологии», «Инженерная геология», «Геология нефти и газа», «Геология и гидрогеология».

Изучение основ геологии и инженерной геодинамики обеспечивает получение общетеоретических и инженерных знаний, позволяющих в дальнейшем осваивать направления, входящие в комплекс наук, называемой «геотехникой».

Знания и умения студентов, полученные при изучении материала, изложенного в настоящем учебном пособии, послужат основой при обеспечении таких дисциплин, как «Механика грунтов», «Основания и фундаменты», «Строительство в сложных инженерно-геологических условиях», «Геоэкология», а также при подготовке дипломных проектов.

Авторы выражают глубокую признательность за ценные замечания и поддержку настоящей работы рецензентам: Винникову Юрию Леонидовичу – доктору технических наук, профессору, действительному члену Академии строительства Украины, профессору кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, а также Стрижельчику Геннадию Георгиевичу – кандидату геолого-минералогических наук, доценту, профессору кафедры геотехники и подземных сооружений Харьковского национального университета строительства и архитектуры.



## ВВЕДЕНИЕ

Геология в современном понимании – это развивающаяся система знаний (комплекс наук) о вещественном составе, строении, происхождении и эволюции геологических объектов, о процессах, происходящих на поверхности и в глубинах Земли. Она является теоретической базой для прикладной науки инженерной геологии, которая направлена на изучение природных и техногенных геологических процессов, происходящих в верхней части земной коры, применительно к инженерно-строительной деятельности человека, а также исследованию свойств горных пород (грунтов), как оснований зданий и сооружений или строительных материалов.

Главная цель дисциплин геологического цикла – это обучение методам исследований для оценки геологических условий на территории будущего строительства, прогнозирования изменений геологической среды, которые произойдут в процессе строительства, после его завершения, а также при дальнейшей эксплуатации строительных объектов. В современных условиях без достоверного и полного инженерно-геологического обоснования невозможно разработать качественный проект и возвести ни одно ответственное здание или сооружение.

В состав инженерной геологии входят:

- инженерная геодинамика, изучающая геологические процессы и явления, как природные, так и техногенные;
- грунтоведение – предметом исследования являются физико-механические свойства горных пород, почв, техногенных грунтов;
- региональная инженерная геология изучает строение и особенности инженерно-геологических условий определенных территорий.

Современная инженерная геология является основой для многих специальных разделов геотехники (от англ. *geotechnics*). В составе геотехники разработаны научные методы (механика грунтов и механика скальных пород) и инженерные принципы строительной деятельности с использованием горных пород земной коры; геотехника также включает совокупность технических решений, приемов и способов возведения подземных частей зданий и сооружений, освоения подземного пространства для строительства заглубленных сооружений.

Весьма близки к геологии специализированные науки – инженерная гидрогеология, геокриология (мерзлотоведение), а также комплексная наука геоэкология.

Профессиональному инженеру-строителю необходимо обладать знаниями в области геологии и смежных дисциплин для решения сложных вопросов взаимодействия современных сооружений и геологической среды. Только комплексная профессиональная подготовка специалистов позволит надежно, экономично и экологически безопасно решать проблемы, возникающие в течении всего времени существования строительного объекта – от проекта и строительства, через эксплуатацию, возможно реконструкцию, и в дальнейшем вплоть до ликвидации.

Выпускники строительных факультетов для успешной практической деятельности должны обладать базовыми понятиями по общей геологии, инженерной геодинамике, грунтоведению, гидрогеологии, региональной инженерной геологии. Кроме того, необходимо знать и руководствоваться в работе основными нормативными документами,

например, ДБН А.2.1-1-2008 «Инженерные изыскания для строительства»; ДСТУ Б.В.2.1-2-96 и Межгосударственный стандарт ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»; ДБН В.1.1-24-2009 «Защита от опасных геологических процессов». Специалисты-проектировщики должны иметь представление о составе и порядке выполнения инженерно-геологических изысканий, уметь интерпретировать их результаты и принимать по этим данным обоснованные решения по строительству объектов.

Основная направленность данной работы – ознакомить студентов с главнейшими геологическими объектами, процессами и явлениями, их влиянием на строительство, с мероприятиями и способами защиты от негативных воздействий с использованием современной базы нормативных документов.

## Раздел 1. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

### 1.1 Основные сведения о Земле

#### **Форма, происхождение и строение Земли. Литосфера и тектонические плиты. Виды земной коры. Гидросфера. Атмосфера. Биосфера**

Земля – это третья от Солнца планета Солнечной системы. Она входит вместе с Меркурием, Венерой и Марсом в группу планет, имеющих твердую каменистую поверхность, в отличие от газовых и ледяных гигантов – Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Среди планет «земной группы» Земля имеет наибольшие размеры, массу, плотность, уровни гравитационного и магнитного поля.

*Форма Земли.* Форма Земли близка к эллипсоиду вращения – шару, сплюснутому у полюсов. Расстояние от центра Земли до полюсов – 6356,8 км, а до экватора – 6378,1 км. Таким образом, экваториальный диаметр нашей планеты на 43 км больше, чем полярный диаметр. Возникновение деформации обусловлено центробежной силой из-за вращения Земли. В связи с этим наиболее удаленными от центра Земли точками на её поверхности является вовсе не вершина высочайшей горы Эверест (8848 м над уровнем моря) (рис. 1.1.1), а вершины вулкана Чимборасо в Эквадоре (рис. 1.1.3) и горы Уаскаран в Перу (рис. 1.1.4). На горе Уаскаран зафиксировано самое низкое значение ускорения свободного падения на Земле –  $9,7639 \text{ м/с}^2$ . Наиболее заглубленной точкой на Земле является дно Марианской впадины (10994 м ниже уровня моря) (рис. 1.1.2). С учетом всех возвышенностей и углублений, уникальная форма планеты получила название – геоид. Отметим, что перепады рельефа на поверхности Земли составляют менее 20 км, что по сравнению с радиусом планеты (около 6360 км) составляет ничтожно малую величину.

*Происхождение Земли.* По современным научным представлениям, Земля сформировалась  $4,54 \pm 0,04$  млрд лет назад вместе с другими планетами Солнечной системы из первичного газово-пылевого облака. Под действием гравитации облако постепенно сжималось, частицы сталкивались, притягивались к более крупным объектам и в течение 10-20 млн лет образовались планеты. При формировании Земли более тяжелые химические элементы (железо, никель) концентрировались ближе к центру, а более легкие (кремний, углерод, кислород) – ближе к внешней части планеты. В результате гравитационного сжатия произошло нагревание и расплавление вещества внутри Земли и образовалось ядро, окруженное рядом концентрических оболочек – мантия, земная кора (литосфера); гидросфера и атмосфера, образовавшиеся позже (см. рис. 1.1.5).

*Строение Земли.* В центре Земли расположено металлическое ядро, состоящее в основном из железа (~ 80 %), с примесью кремния (~ 7 %), никеля (~ 5 %), серы (~ 2 %) и других элементов. Внутренняя часть ядра представляет собой твердый шар диаметром 2600 км. Внешняя часть ядра – жидкая; его диаметр около 4400 км, глубина залегания от земной поверхности – 2900 км. Температура в ядре достигает 5–6 тыс. градусов Цельсия, плотность – до  $13 \text{ т/м}^3$ . С ядром связано наличие магнитного поля Земли, благодаря которому частицы солнечного ветра отклоняются к полюсам, что обеспечивает возможность существования жизни на нашей планете.

Следующей оболочкой является мантия, имеющая преимущественно силикатный состав. Она занимает пространство между земной корой (заканчивающейся на глубине 5–70 км) до ядра (2900 км) и содержит наибольшую часть земного вещества – 67 % массы и 83 % объема земного шара.



Рисунок 1.1.1 – Гора Эверест (8848 м) – высочайшая вершина планеты (1)

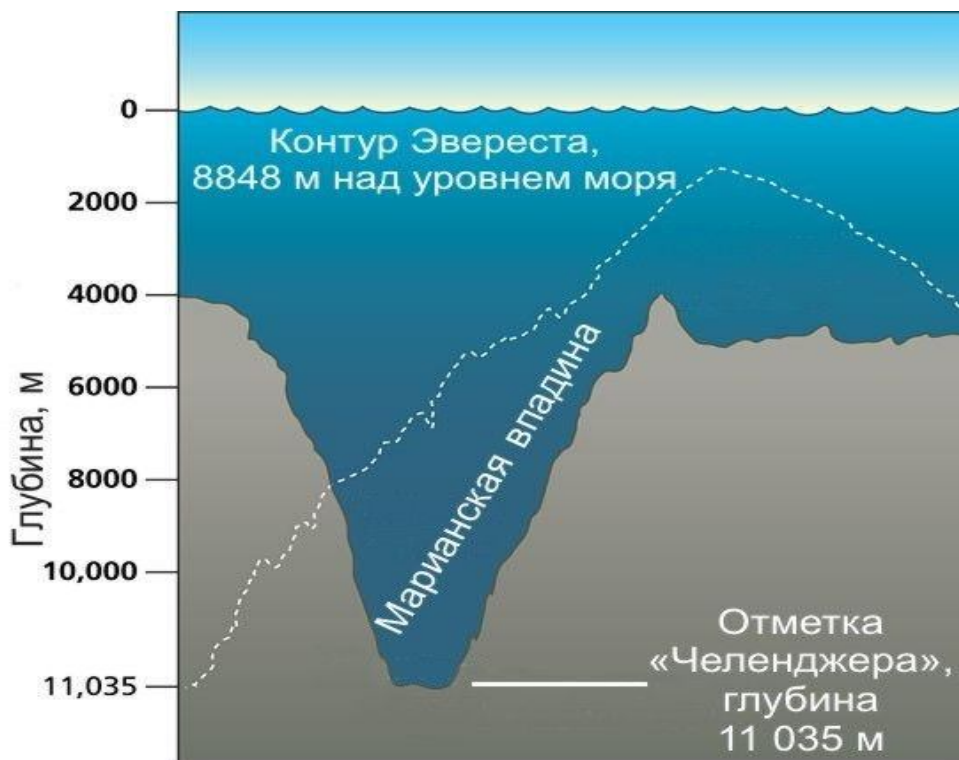


Рисунок 1.1.2 – Марианская впадина ( $10994 \pm 40$  м по замерам 2011 г.) (2)





Рисунок 1.1.3 – Вулкан Чимборасо, Эквадор (6267 м) (3)

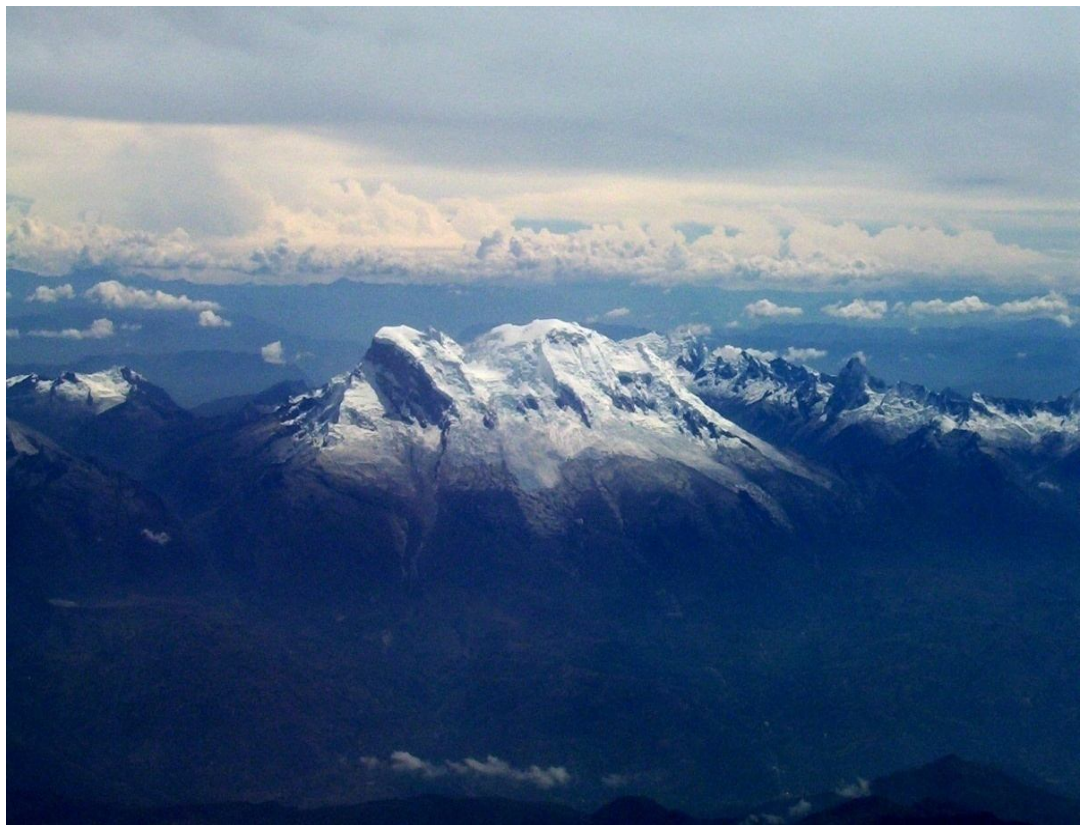


Рисунок 1.1.4 – Гора Уаскаран, Перу (6768 м) (4)

От земной коры мантия отделяется «поверхностью Мохоровичича», названной по имени сербского ученого открывшего ее в начале XX века. Ниже этой поверхности скорость прохождения сейсмических волн значительно возрастает, что указывает на увеличение плотности вещества. В состав мантийного вещества входят, в основном кремний, железо, магний и кислород; агрегатное состояние, в основном твердое, благодаря очень высокому давлению. Исключение составляет «астеносфера» – слой, залегающий на глубине 100–700 км, где вещество находится в почти расплавленном аморфном состоянии (рис. 1.1.5).

*Литосфера и тектонические плиты.* Литосфера – это каменная оболочка Земли. Она включает в себя верхнюю часть мантии и земную кору. Литосфера разделена геологическими разломами на отдельные блоки – литосферные (или тектонические) плиты (рис 1.1.6). Более 90 % поверхности занимают 8 крупнейших литосферных плит: Тихоокеанская, Северо-Американская, Евразийская, Африканская, Австралийская, Антарктическая, Южно-Американская, Индостанская. К плитам среднего размера относятся Аравийская, Наска, Хуана де Фука, Кокос и ряд других, также имеется множество малых плит. Плиты движутся относительно друг друга с различной скоростью: от 2 см/год у «самой медленной» – Евразийской плиты до 5,2 – 6,9 см/год и 7,5 см/год у «самых быстрых» Тихоокеанской и Кокос. Очертания литосферных плит непрерывно изменяются, они могут раскалываться или объединяться. Иногда они погружаются в мантию и исчезают с поверхности Земли. Современные очертания материков и океанов возникли в результате движения литосферных плит. Так, Южная Америка и Африка ранее составляли единый континент, что хорошо видно по очертаниям береговой линии Бразилии и Гвинейского залива.

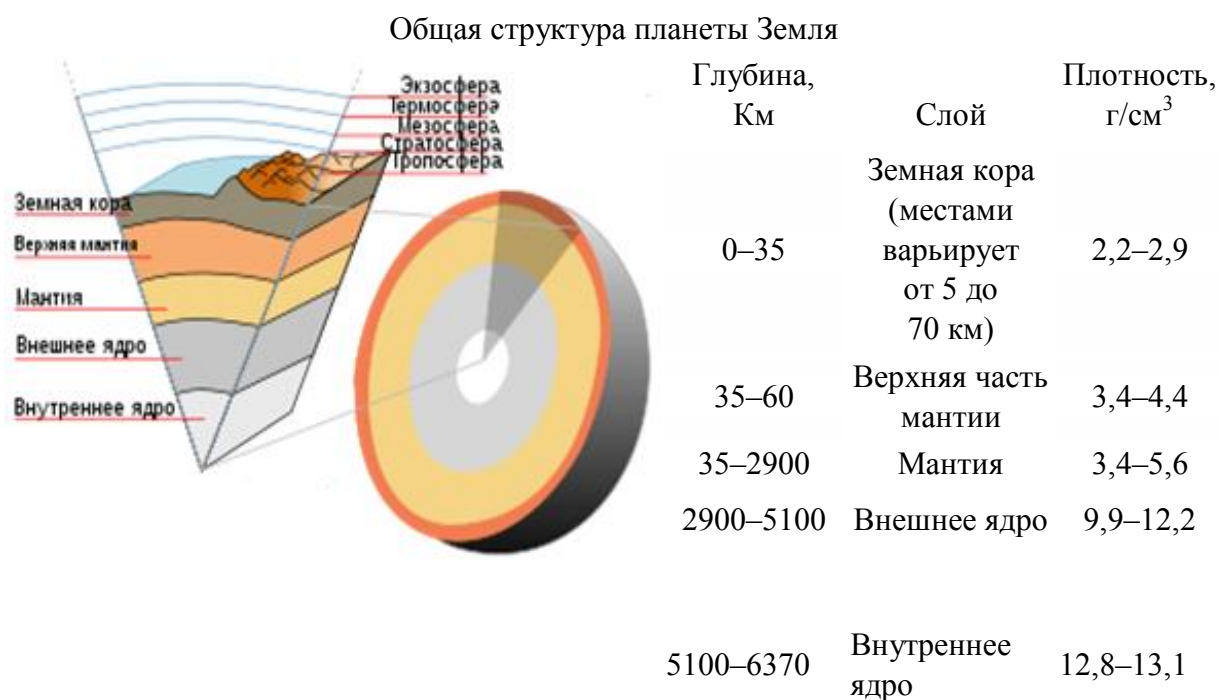


Рисунок 1.1.5 – Строение Земли (5)

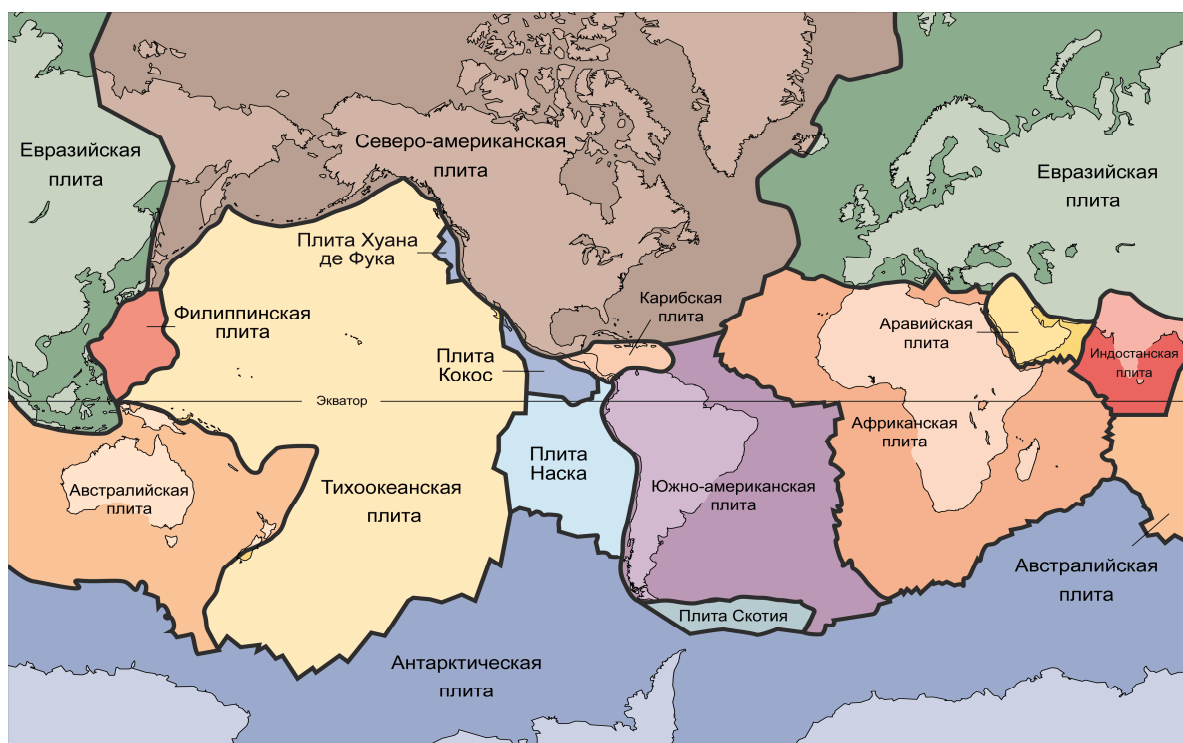


Рисунок 1.1.6 – Литосферные тектонические плиты (6)

А затем, в результате постоянного выдавливания вещества через Срединно-Атлантический разлом, образовался Атлантический океан, который продолжает расширяться и в настоящее время (рис. 1.1.7, 1.1.8). На контактах тектонических плит идут процессы горообразования, наблюдается высокая сейсмическая активность – частые землетрясения, извержения вулканов.

*Виды земной коры.* Верхняя часть твердой оболочки нашей планеты называется земная кора. Существует два принципиально разных вида земной коры – кора континентальная (более древняя) и кора океаническая, имеющая возраст не старше 200 миллионов лет. Некоторые литосферные плиты сложены исключительно океанической корой, например, крупнейшая Тихоокеанская плита, другие состоят из блока континентальной коры, «впаянного» в кору океаническую. Кроме того, выделяют два основных подтипа земной коры – субконтинентальный и субокеанический.

*Континентальная земная кора* в пределах равнин имеет толщину 30–45 км, под горными областями – 60–70 км (так называемые, «корни гор»); максимальные значения выявлены под наиболее высокими горными системами Гималаями и Андами – до 75 км. В строении континентальной коры обычно участвуют три слоя: 1.) «Осадочный слой» – верхний прерывистый слой, состоящий из осадочных и вулканических изверженных пород; 2.) «Гранитный слой» – расположенный ниже слой, состоящий из гранитов и гнейсов; 3.) «Базальтовый слой» – наиболее заглубленный, в составе которого преобладают базальты, габбро и метаморфические породы.

*Океаническая земная кора*, расположенная под океанами, имеет значительно меньшую толщину, чем материковая, 5–10 км. Вверху залегает слой донных осадков, толщиной до 1 км; следующий слой – «базальтовый» – 1–2,5 км; далее расположен «нижний океанический» слой, состоящий из габбро и пироксенитов, средней толщиной 5 км.





Рисунок 1.1.7 – Рельеф дна Атлантического океана (7)

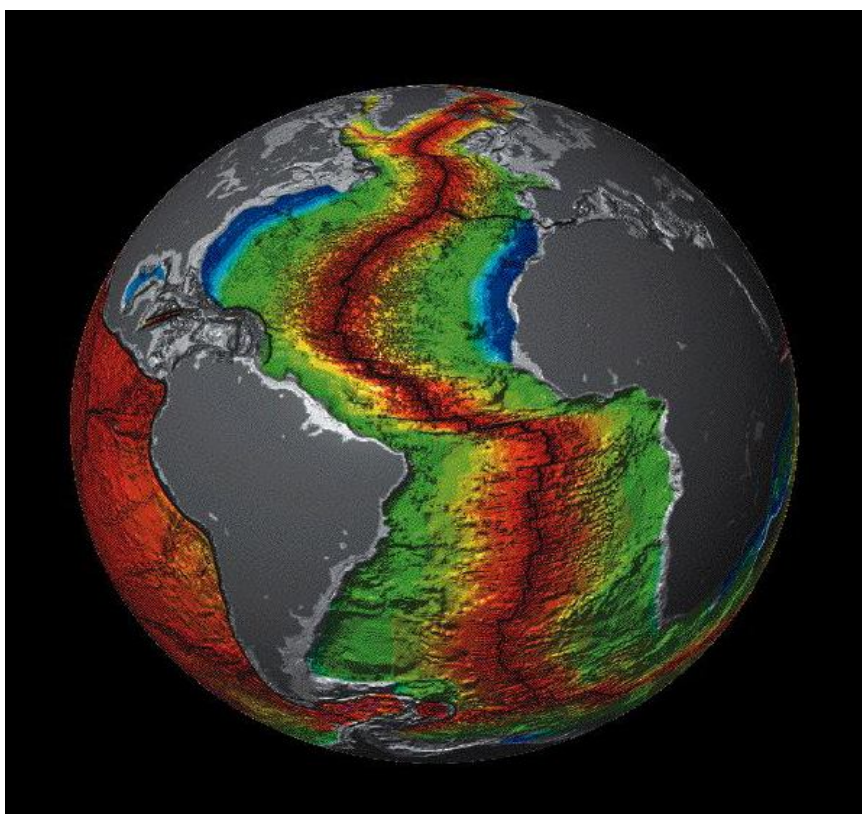


Рисунок 1.1.8 – Срединно-Атлантический хребет (8): наиболее молодые породы океанической коры – красного цвета, наиболее старые – фиолетового

*Субконтинентальный подтип земной коры по строению близок к континентальному, но имеет меньшую толщину – 20–30 км. Он расположен под островными дугами (Курильские острова и др.).*



*Субокеаническая кора* подстилает впадины внутренних и внешних морей – Средиземного, Черного, Охотского и др. Для этого подтипа коры характерна большая толщина осадочного слоя от 5–10 (иногда до 20) км, которые залегают на «базальтовом слое», толщиной 5–10 км. Суммарная толщина субокеанической коры 10–25 км.

*Гидросфера.* Водная оболочка Земли называется гидросферой. Наличие жидкой воды на поверхности принципиально отличает нашу планету от всех других известных на сегодняшний день космических объектов. Из космоса Земля выглядит как голубая планета (рис. 1.1.9, 1.1.10). Благодаря воде возможно существование земной жизни. Вода покрывает ~ 71 % земной поверхности; средняя глубина океанов, в которых сосредоточено 94 % воды, составляет 3,68 км. Общий объем гидросферы равен всего лишь 0,13 % объема земного шара, то есть можно сказать, что вода – это тонкая пленка на поверхности Земли.

Большая часть водных ресурсов планеты – соленые воды. Средняя соленость океанских вод составляет 35 ‰ (35 г соли на 1 кг воды). Пресных вод на Земле только 2,5 % от общего количества, причем из них ~ 69 % сосредоточено в ледниках в замороженном виде. Количество воды в различных частях гидросферы приведено в таблице 1.1.1.

Таблица 1.1.1 – Объем воды в различных частях гидросферы Земли

Части гидросферы	Объем соленых вод, тыс. км <sup>3</sup>	Объем пресных вод, тыс. км <sup>3</sup>
Мировой океан	1332000	-
Подземные воды	56000	4000
Ледники	-	24000
Озера	125	155
Почвенная влага	2	83
Пары атмосферы	-	14
Реки	-	1,2
Вода в живых организмах	-	1,12

Как видно из приведенной таблицы, реки – один из главнейших, на сегодняшний день, источников водоснабжения, составляют весьма незначительную часть мировых запасов пресных вод.

Вода, составляющая гидросферу, является мощным геологическим фактором, влияющим на внешний облик планеты. Она способствует как формированию горных пород, так и их разрушению.

*Атмосфера.* Газовая оболочка, которая окружает планету Земля, называется атмосфера. Нижней границей атмосферы является гидросфера и земная кора, верхней – высота 1300 км, где она вращается с Землей как единое целое, а её плотность уравнивается с плотностью межпланетного пространства.



Рисунок 1.1.9 – Вид Земли и Луны из космоса (9)



Рисунок 1.1.10 – Утро планеты (10)

В химическом составе атмосферы преобладает азот (78 % по объему), кислорода – 21 %, аргона – 0,93 %, углекислого газа – 0,04 %. Концентрация газов, составляющих атмосферу, практически постоянна, за исключением углекислого газа и паров воды. Содержание воды в атмосфере колеблется от 0,2 % до 2,5 % по объёму, и зависит в основном от широты местности.

В составе атмосферы выделяют несколько слоев, отличающихся по составу, плотности, температуре и т. д.

Нижняя часть атмосферы, содержащая ~ 80 % её общей массы и 99 % всего водяного пара ( $1,3-1,5 \cdot 10^{13}$  т), называется тропосферой (рис. 1.1.11). Её толщина неодинакова и зависит от типа климата и сезонных факторов: так, в тропических и экваториальных регионах она доходит до 16–18 км, в умеренном поясе – до 10–12 км, а в полярных областях составляет около 8–10 км. В тропосфере образуются облака, движутся циклоны и антициклоны. Температура уменьшается с высотой в среднем на  $0,65^\circ\text{C}$  при подъеме на каждые 100 м.

Следующий слой – стратосфера – располагается на высоте 11–50 км. Здесь содержится около 20 % массы атмосферы. Характерной особенностью является незначительное снижение температуры до высоты 25 км ( $-56,5^\circ\text{C}$ ), а затем, к высоте 40 км её повышение до  $+0,8^\circ\text{C}$ ; далее до высоты 55 км температура постоянна – около  $0^\circ\text{C}$ .

*Мезосфера* простирается от высоты 50 км до 80–90 км. Содержит ~ 0,3 % всей атмосферной массы. Температура понижается на  $0,25-0,3^\circ\text{C}$  на каждые 100 м и достигает минимума  $-100^\circ\text{C}$ . Здесь наблюдаются сложные фотохимические процессы, приводящие к свечению атмосферы.

На высоте 100 км проходит условная граница, выше которой невозможно воздухоплавание, то есть – граница с космосом или линия Кармана. Орбитальные космические полеты проходят на высотах 200–500 км.

Слой, расположенный до высоты 800 км и содержащий менее 0,05 % массы атмосферы называется термосфера. Температура здесь очень неоднородна на разных уровнях и, в зависимости от солнечной активности, может быстро поднимается до сотен градусов по шкале Цельсия. На высоте около 800 км рост температуры прекращается, поскольку из-за разреженности газ слабо поглощает солнечную радиацию. Термосфера и мезосфера составляют ионосферу, в которой под действием солнечного ветра, ионизирующего молекулы, возникают полярные сияния (рис. 1.1.12).

Внешняя часть термосферы окружена экзосферой или зоной рассеяния. Газ здесь сильно разрежен и наблюдается утечка его молекул в межпланетное пространство. На высоте 2000–3500 км экзосфера постепенно переходит в межпланетное пространство, в котором встречаются отдельные атомы водорода, космическая пыль, частицы кометного и метеорного вещества.

*Биосфера* – это совокупность частей оболочек Земли (самая верхняя часть литосферы, практически вся гидросфера и нижняя часть атмосферы), которая заселена живыми организмами и находится под их воздействием. Биосфера начала формироваться ~ 3,8 миллиардов лет назад, когда на нашей планете появились первые организмы. В настоящее время в биосфере обитает несколько миллионов видов растений, животных, грибов и микроорганизмов. Живые организмы находятся в постоянном взаимодействии с приповерхностными оболочками Земли и заметно влияют на их состав и облик, то есть являются важнейшим геологическим фактором.

Оболочка Земли, в которой сосредоточена жизнь, – биосфера впервые была выделена в 1875 году австрийским геологом Э. Зюссом, однако её особое значение для геологических и геохимических процессов было выявлено значительно позже академиком В. И. Вернадским. Биосфера окружает Землю сплошной оболочкой. Только кратеры действующих вулканов, потоки не застывшей лавы и некоторые замкнутые водоемы с особенно высокой концентрацией солей и кислот могут считаться временно

безжизненными, но только временно. По В. И. Вернадскому, масса живой органической материи на Земле составляет 0,001 % от массы земной коры. Большая её часть находится в океане в виде планктона. Геологическое значение живых организмов огромно – они пропускают через себя и перерабатывают большое количество вещества. За 13 лет организмы пропускают через себя такое количество углерода, которое в 10 раз превышает все его содержание в земной коре. В. И. Вернадский считал весь кислород атмосферы продуктом жизнедеятельности организмов.



Рисунок 1.1.11 – Тропосфера (над Тихим океаном) (11)

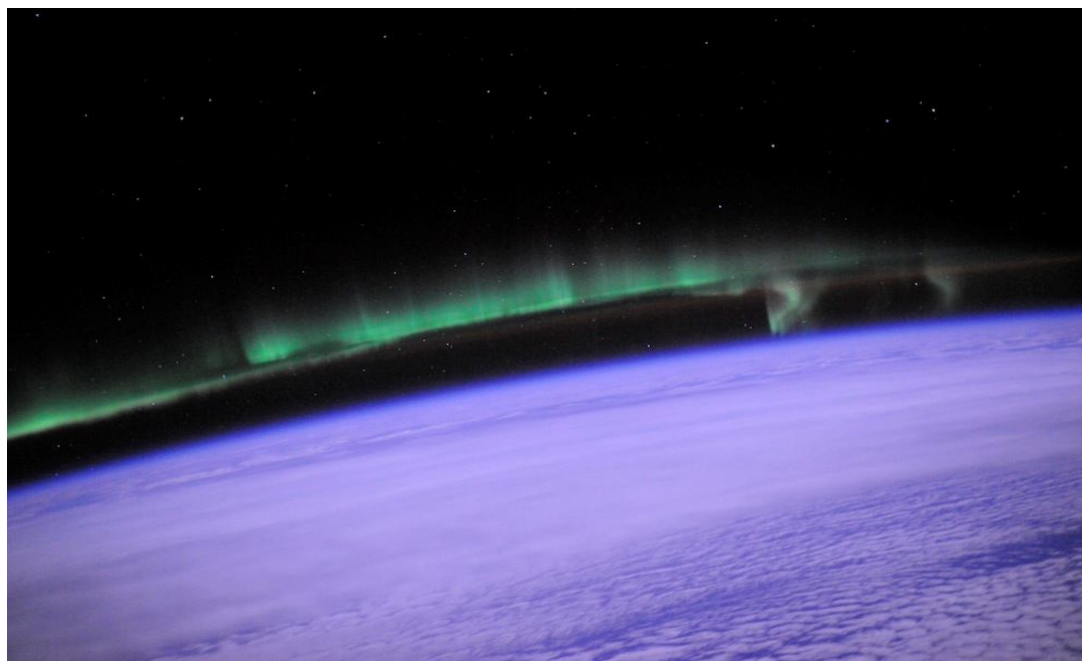


Рисунок 1.1.12 – Свечение атмосферы (12)

Скопления каменного угля, торфа, нефти, мела, органогенных известняков, фосфоритов, многих железных и марганцевых руд – результат жизнедеятельности организмов, также, как и почвы – продукт их взаимодействия с горными породами. Около 20–22 химических элементов могут концентрироваться в организмах в значительных количествах. Это Pb, Zn, Ni, Pt, Be, U, редкие земли и другие элементы.

## 1.2. Основы минералогии

**Определение минералов. Физические и химические свойства. Происхождение минералов. Классификация. Применение.**

В строении Земли существует несколько уровней организации вещества, в которых объекты каждой следующей ступени образованы закономерным сочетанием объектов предыдущей ступени: минерал – горная порода – геологическая формация – геосфера – планета в целом. Первичными объектами, изучаемыми геологией, являются минералы. Один из основных и, вероятно, самых ранних разделов геологии – наука «минералогия» занимается изучением многообразия минералов, их свойств и физико-химических характеристик. Отметим, что в эпоху средневековья геология среди наук о Земле была представлена одной минералогией.

Минеральный состав определяет физико-механические свойства горных пород (грунтов), используемых в качестве оснований зданий и сооружений или строительных материалов, в связи с этим представляет интерес для инженерной геологии и строительства.

*Минералы* – это природные образования с определенным химическим составом, структурой и физическими свойствами, которые сформировались в результате естественных физико-химических процессов. Основная часть минералов образовалась в недрах земной коры, меньшая – вблизи земной поверхности, некоторые – в космосе. Кроме того, человеком создан ряд искусственных минералов, используемых в различных областях.

Большинство минералов представляют собой твердые неорганические кристаллические образования; значительно меньшая часть находится в аморфном, стеклоподобном состоянии (например, опал, кремнь, а также урансодержащие минералы); редко встречаются минералы в жидком состоянии (самородная ртуть).

В настоящее время Международной минералогической ассоциацией (ИМА)<sup>1</sup> установлено около 4900 видов минералов. Разновидностей минералов насчитывают до 7000. Однако в составе земной коры преобладают ~ 100 главнейших минералов, которые составляют основу горных пород и называются породообразующими. Остальные минералы – это акцессорные (иногда слагающие до 5 % породы) и редкие, случаи находок которых крайне малочисленны.

*Физические и химические свойства минералов.* Каждый минерал обладает определенными свойствами, которые зависят от его состава и кристаллической структуры.

---

<sup>1</sup>ИМА (IMA) – Международная минералогическая ассоциация (International Mineralogical Association), учреждена 8 апреля 1958 г. с целью унификации терминов в области минералогии. Объединяет ассоциированных членов из 38 стран (по состоянию на 14.01.2014). Имеет, в частности, Комиссию по новым минералам, номенклатуре и классификации (CNMNC), которая решает, какие природные тела могут считаться минералами.

Главными физическими характеристиками, которые служат для определения минералов, являются:

- внешний вид, форма минералов (кристаллы, агрегаты или аморфная масса);
- оптические свойства (цвет, блеск, прозрачность, цвет черты, побежалость);
- физико-механические свойства (твердость, спайность, излом, плотность);
- специфические свойства.

*Форма* кристаллических минералов определяется кристаллической решеткой – закономерным упорядоченным расположением атомов, а в аморфных минералах – беспорядочным расположением. Форма кристаллов является важным диагностическим признаком для каждого определенного минерала; она может быть, как простой (плоские пластинки, тетраэдры, кубы), так и сложной, в виде сочетания многогранных призм, пирамид, объемные многогранники (рис. 1.2.1). Следует отметить, что минералы в виде отдельных кристаллов встречаются относительно редко, чаще наблюдаются различные сростки двух, нескольких или большого количества кристаллов – минеральные агрегаты.

Выделяют следующие основные формы минеральных агрегатов: двойники, щетки, друзы, секретиции (жеоды), конкреции, натечные формы, зернистые и землистые массы (рис. 1.2.2).

### **Оптические свойства**

Цвет у многих минералов строго постоянный. Например, альбит – белый, малахит – зеленый, азурит – синий, сера – желтая, киноварь – малиново-красная и т.д. (рис. 1.2.3). В зависимости от примесей или специфических дефектов в кристаллической структуре цвет может изменяться. Кварц, обычно белый или прозрачный (горный хрусталь, рис. 1.2.1, д), но он может быть и черным (морион, рис. 1.2.3, д), фиолетовым (аметист, рис. 1.2.2, в), желтым (цитрин, рис. 1.2.2, б), розовым, красным и т. д. Некоторые минералы, например, лабрадор (рис. 1.2.3, е), обладают специфическим ярко-синим или зеленым отливом, называемым иризацией, и которая является важным диагностическим признаком.

*Блеск* – это способность минералов отражать свет своей поверхностью. Выделяют два основных вида блеска – металлический и неметаллический. Металлический блеск характерен для металлосодержащих минералов, и он может быть железным (гематит, рис. 1.2.2, ж), серебристым, золотистым (пирит, самородное золото), свинцовым (галенит), тусклым (лимонит) и др.

Разновидности неметаллического блеска: стеклянный, который характерен почти для всех разновидностей кварца (рис. 1.2.1, г, 1.2.2, б, в, 1.2.3, д), а также для альбита (рис. 1.2.3, а) и других полевых шпатов; - перламутровый (мусковит, рис. 1.2.1, а), жирный (тальк), алмазный (алмаз) и др.

*Прозрачность* – способность минералов пропускать свет. По прозрачности выделяются три группы минералов: 1 – прозрачные (мусковит, горный хрусталь и др.); 2 – полупрозрачные (гипс, халцедон, галит, кальцит и др.); 3 – непрозрачные (графит, магнетит, гематит и другие металлосодержащие минералы).

Цвет черты – цвет тонкого порошка минерала. Определяется путем проведения черты на шершавой фарфоровой пластинке. Цвет минерала и цвет черты могут существенно отличаться, в таком случае это важная диагностическая характеристика. Так, гематит (рис. 1.2.2, ж), имеет почти черную окраску, а цвет черты у него вишнево-красный.



*Побежалость* – это тонкая, часто разноцветная, пленка, которая образуется на поверхности некоторых минералов за счет окисления (побежалость на самородном висмуте, рис. 1.2.1, в).



а



б



в



г



д

Рисунок 1.2.1 – Различные формы кристаллов (13): а – тонкие пластинки, листки у мусковита (светлая слюда); б – кубические кристаллы галита (каменная соль); в – сочетание призм и пирамид у самородного висмута; г – шестигранная пирамида и призма у горного хрусталя (прозрачный кварц); д – гигантские кристаллы селенита (разновидность гипса) в пещере Naica Mine, Мексика



а



б



в



г



д



е



ж

Рисунок 1.2.2 – Минеральные агрегаты (14): а – двойники ставролита; б – щетка цитрина (желтого кварца); в – друза кальцита в жеоде аметиста; г – друза актинолита; д – конкреции халцедона; натечные формы: е – малахит, ж – гематит



### Физико-механические свойства






*Твердость* – способность минералов противостоять механическому воздействию. Это свойство является одним из основных для определения минералов. Для оценки твердости немецким естествоиспытателем Фридрихом Моосом ещё в 1811 г. была предложена 10-балльная шкала, которая успешно применяется до сих пор при ориентировочных или полевых определениях. Твердость определяют путем царапания исследуемого образца другими минералами с известной твердостью или распространенными предметами (гвоздем, стеклом и др.). Шкала Мооса с некоторыми дополнительными характеристиками и изображениями приведена в таблице 1.2.1, (рис. 1.2.4).

Первые семь минералов – от талька до кварца являются породообразующими и распространены достаточно широко; а восьмой – десятый: топаз, корунд и алмаз – редкие. Следует отметить, что твердость по Моосу, от одного до десяти, является только относительной величиной. Истинная твердость у минералов отличается в десятки и сотни раз (табл. 1.2.1).

Таблица 1.2.1 – Шкала твердости минералов по Ф. Моосу

Минерал-эталон; химический состав	Относительная твердость и (истинная твердость, МПа)	Упрощенное испытание; характерные свойства	Изображение и краткое описание
1	2	3	4
Тальк $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1 (24)	Легко царапается ногтем; жирный на ощупь	 тальковые агрегаты и порошок
Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2 (369)	Царапается ногтем; образует слоистые массы, раздвоенные кристаллы; растворяется в воде	 гипс; разновидность «роза пустыни»
Кальцит $CaCO_3$	3 (1090)	Царапается медной монетой (мягким металлом); вскипает под действием кислот	 кристаллические и натечные формы кальцита

Продолжение таблицы 1.2.1

1	2	3	4
Флюорит $\text{CaF}_2$	4 (1890)	Легко царапается гвоздем (железом); Цвет белый, фиолетовый, зеленый; легко плавится	 жила флюорита, Забайкалье
Апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ (OH-Cl-F-)	5 (5360)	Царапается стальным ножом; образует сине-зеленые кристаллы и землистые массы	 кристалл апатита в виде неправильной шестигранной призмы и пирамиды, Слюдянка, Байкал
Ортоклаз $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	6 (7950)	Царапается стеклом; характерен прямой угол между плоскостями спайности	 розовый ортоклаз, Англия
Кварц $\text{SiO}_2$	7 (11200)	Царапает стекло; самый распространенный из твердых минералов	 виды кварца: прозрачный – горный хрусталь; молочно-белый (встречается наиболее часто); цветные: цитрин, сердолик, агат и др.
Топаз $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH-F})_2$	8 (14270)	Поддается обработке алмазом. Характерны цвета тёплых оттенков: медовый, красноватый, реже - голубой	 топаз, Володарск-Волынский, Украина

1	2	3	4
Корунд $\text{Al}_2\text{O}_3$	9 (20600)	Поддается обработке алмазом. Самый твердый минерал после алмаза	 красный корунд – рубин, Малайзия
Алмаз C	10 (100600)	Не царапается ничем. Режет стекло; самый твердый природный минерал	 алмаз «Шах», Индия

*Спайность* – способность минералов раскалываться по строго определенным направлениям, называемым плоскостями спайности. Она зависит только от внутреннего строения минерала и не зависит от формы его кристалла.

Существуют следующие виды спайности:

- весьма совершенная, обладая которой минерал легко расщепляется на тонкие пластинки (минералы со слоистой структурой: слюды (рис. 1.2.1, а), графит и др.);
- совершенная, при которой кристаллы раскалываются на более толстые пластинки, параллелепипеды, кубики с ровными поверхностями (кальцит, галенит (рис. 1.2.5, а), ортоклаз, микроклин (рис. 1.2.5, б);
- несовершенная – поверхность скола неровная (апатит, нефелин,) и обнаруживается с трудом;
- весьма несовершенная – минерал практически не имеет спайности (кварц, магнетит).

Плоскости спайности или раскалывания могут происходить по одному, двум и более направлениям (призме, ромбоэдру, кубу и др.)

*Излом* – это вид поверхности разрыва минерала, образующийся при его разрушении не по плоскостям спайности. Виды изломов, встречающиеся у различных минералов, следующие: ровный, неровный, ступенчатый, раковистый (рис. 1.2.5, в), занозистый (рис. 1.2.5, г), землистый и др.

*Плотность минералов* колеблется в широких пределах от  $0,917 \text{ г/см}^3$  (самый легкий минерал – лёд) до  $22,84 \text{ г/см}^3$  (самый тяжелый минерал – платинистый иридий). По величинам плотности минералы можно разделить на 4 группы (в  $\text{г/см}^3$ ):

1. Низкая (меньше 3): сильвин –  $\text{KCl}$  (2,0); галит –  $\text{NaCl}$  (2,1); гипс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (2,3).
2. Средняя (3-5): флюорит –  $\text{CaF}_2$  (3,2); халькопирит –  $\text{CuFeS}_2$  (4,2); барит  $\text{BaSO}_4$  (4,5).
3. Высокая (5-10): галенит –  $\text{PbS}$  (7,5); вольфрамит –  $(\text{Fe}, \text{Mn}) [\text{WO}_4]$  – (7,4).
4. Очень высокая (>10): золото –  $\text{Au}$  (15,6-18,3), платина –  $\text{Pt}$  (~ 19).

*Специфические свойства.* Некоторые минералы обладают особыми свойствами, по которым их можно определить. К этим свойствам относятся:

- хрупкость – способность легко разрушаться при ударе (сера, апатит). Некоторые очень твердые минералы могут раскалываться при резком механическом воздействии, в частности алмаз, т.е. быть хрупкими;

- ковкость – способность сплющиваться при ударах. Наиболее ковкий минерал – золото, из которого можно выковать листы толщиной до 0,1 мкм. Менее ковкие самородная медь, серебро;

- упругость – способность изменять форму под действием силы и восстанавливать её после прекращения воздействия. Упругие минералы – слюды (биотит, мусковит и др.); специфические оптические свойства: иризация лабрадора (рис. 1.2.3, е); флуоресценция опала (рис. 1.2.5, в); двойное лучепреломление у исландского шпата (прозрачный кальцит) (рис. 1.2.6, а);

- реакция с соляной кислотой. При нанесении капли HCl на некоторые минералы происходит выделение пузырьков углекислого газа; таким способом реагируют минералы класса карбонаты – кальцит и доломит;

- плавкость и горючесть. Легко плавятся и загораются сера и янтарь;

- органолептические свойства: жирность – определяется на ощупь (жирностью обладают тальк, каолинит); запах: характерный запах имеет сера, чесночный запах возникает при ударе по минералам, содержащим мышьяк (скородит, рис. 1.2.6, б); солёный вкус имеет галит; горький – мирабилит (рис. 1.2.6, в); жгучий, горько-солёный сильвин (рис. 1.2.6, г);

- магнитность. Этим свойством обладают магнетит, самородное железо; радиоактивность. Радиоактивны минералы, содержащие изотопы урана, тория, в частности уранинит (рис. 1.2.6, д).

*Происхождение минералов.* Основными процессами образования минералов в природе являются эндогенный, экзогенный и метаморфический.

*Эндогенный процесс* (от греч. endon – внутри и genesis – происхождение) происходит при медленном застывании магмы в недрах земной коры. Магма (от греч. magma – густая мазь) – это расплавленная огненно-жидкая масса преимущественно силикатного состава, образующаяся в земной коре или верхней мантии. Она состоит из соединений большого числа химических элементов, среди которых преобладают Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, O, N, S, Cl, F. Наряду с катионами в магме присутствуют анионы, представленные чаще всего соединениями кремния и кислорода в составе т.н. кремнекислородного тетраэдра SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Кристаллизация магмы начинается при остывании расплава до 900–800°C, а основная масса минералов образуется при температурах 800–600°C. Этот процесс называется пегматитовым. Глубина образования минералов пегматитовых ассоциаций ~ 6–15 км. На раннем этапе эндогенного процесса образуются магнетит, гранат, шпинель, оливин, анортит. В основной этап кристаллизуются пироксены, роговая обманка и некоторые плагиоклазы; в конце – слюды, ортоклаз, кварц, альбит. В полостях внутри пегматитовых образований иногда встречаются драгоценные камни (турмалин, топаз, циркон, берилл), а также рудные минералы редких элементов – цезия, тантала, ниобия. На последней стадии кристаллизации магмы остаточные порции застывающего расплава представляют собой газированный флюид (по А. Е. Ферсману). Он обладает

большой подвижностью, обогащен легколетучими ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) и другими компонентами ( $\text{Li}$ ,  $\text{Be}$ , и др.).

*Экзогенными* (от греч. *exo* – снаружи, вне) называются процессы образования минералов, происходящие на поверхности Земли или вблизи нее. Различные минералы и породы, попавшие в поверхностные условия в результате горообразовательных или других тектонических процессов, в новых условиях подвергаются выветриванию – разрушению и изменению состава. В результате на поверхности образуется кора выветривания, представляющая собой скопление продуктов измененных горных пород и минералов. В частности, в коре выветривания за счет изменения полевошпатовых пород (гранитов) образуются оксиды и гидроксиды алюминия и железа – бокситы; похожим образом возникают глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит). Нерастворимые минералы остаются на месте или могут перемещаться с помощью водных потоков, ветра. Таким путем формируются различные россыпи, типичными минералами которых являются кварц, золото, касситерит, рутил, гранаты и др.

Растворенные поверхностными водами химические соединения могут перемещаться в глубокие горизонты коры выветривания и там выпадают в осадок. Так возникают скопления сидерита, урановых руд, фосфатов, сульфидов меди. Если растворенные химические соединения уносятся реками в водоемы, то они дают начало химическим осадочным минералам (кальцит, доломит и др.).

Минералы, возникшие за счет испарения воды в условиях сухого климата из бассейнов повышенной солености, представлены гипсом, галитом, сильвином. К экзогенным относятся также минералы биологического происхождения, которые образуются в морях и других водоемах за счет окаменевших органических остатков организмов. Биогенными минералами являются кальцит и арагонит, образующиеся из кораллов и раковин моллюсков; опал, сложенный из кремнистых скелетов микроорганизмов; янтарь, представляющий собой окаменевшую смолу хвойных деревьев и др.

*Метаморфический процесс* происходит в ходе тектонических преобразований, захватывающих крупные регионы. Горные породы и минералы, ранее образовавшиеся в результате эндогенных и экзогенных процессов, опускаются на большие глубины – в области высоких температур и давлений. В таких условиях они становятся неустойчивыми и подвергаются изменениям – метаморфизму. Процессы регионального метаморфизма протекают на больших глубинах (до 20 км) и при высоких температурах (500–900 °C), но без расплавления (!). Давление вышележащих пород может достигать 10000 атм. Основными способами образования минералов при региональном метаморфизме являются процессы дегидратации (обезвоживания), перекристаллизации и уплотнения. Повышение температуры способствует удалению воды из ранее существовавших минералов: например, лимонит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) преобразуется в гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); опал ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) – в кварц ( $\text{SiO}_2$ ). Перекристаллизация приводит к преобразованию угля в графит, фосфорита в апатит.

При уплотнении минералы малой плотности преобразуются в минералы с большой плотностью: альбит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ),  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$  – в жадеит ( $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ),  $\rho = 3,3 \text{ г/см}^3$ ; доломит  $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ,  $\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$  – в тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ ,  $\rho = 3,0 \text{ г/см}^3$ .





а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.2.5 – Спайность, излом, плотность минералов (15): а – галенит (совершенная спайность по кубу); б – амазонит – зеленая разновидность микроклина (плоскости спайности под углом  $70^\circ$ ); в – опал (характерен раковистый излом); г – хризотил-асбест (характерен игольчатый излом); д – магнетит (минерал высокой плотности –  $4,9-5,2 \text{ г/см}^3$ ); е – янтарь (минерал низкой плотности –  $1,05-1,09 \text{ г/см}^3$ )

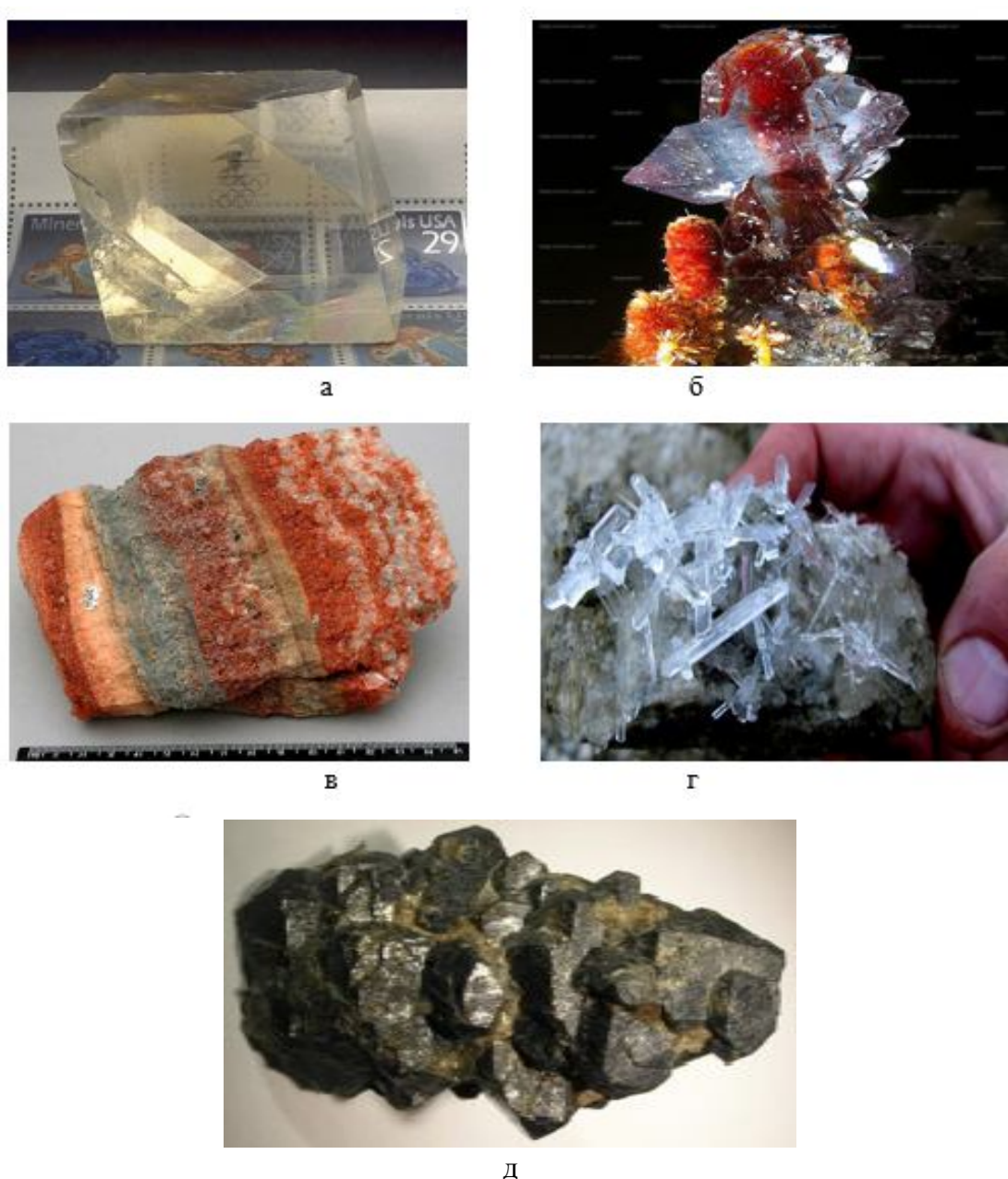


Рисунок 1.2.6 – Специфические свойства минералов (16):

а – исландский шпат; б – скородит; в – сильвин; г – мирабилит (глауберова соль); д – уранинит

*Классификация минералов.* К 30-м годам XX века была разработана кристаллохимическая классификация, основу которой составляет химический состав и структурные (кристаллохимические) особенности минералов. В настоящее время общепринятой является современная версия этой классификации, рекомендованная Международной минералогической ассоциацией (IMA), согласно которой выделяется 19 классов минералов, кроме того имеются подклассы, семейства и другие систематические единицы. Упрощенная классификация с примерами минералов приведена в таблице 1.2.2.

Следует подчеркнуть, что три четверти массы земной коры составляют минералы класса силикаты, в том числе полевые шпаты более половины. Более 12 % массы земной

коры составляет кварц ( $\text{SiO}_2$ ), который по некоторым классификациям также относят к силикатам. Таким образом, каменная оболочка Земли состоит в основном из кремнево-кислородных соединений. Основой кристаллической решетки силикатов является кремнекислородный тетраэдр  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  (рис. 1.2.7), к которому, благодаря четырем свободным валентным связям, могут присоединяться атомы Al, Fe, Ca, H и т.д., а также другие тетраэдры. Так, среди кристаллических решеток силикатов встречаются изолированные структуры (островные и кольцевые), цепочечные и ленточные, слоистые (рис. 1.2.8) и объёмные каркасные (рис. 1.2.9).

Таблица 1.2.2 – Классификация минералов

Тип	Класс, его номер по IMA; содержание в составе земной коры по массе	Характерные минералы; химическая формула
1	2	3
I. Одноатомные	1. Самородные элементы 0,1 %	Самородные металлы (золото Au, серебро Ag, медь Cu, ртуть Hg, платина Pt, а также Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Fe, Ni.); самородные металлоиды (мышьяк As, сурьма Sb, висмут Bi); неметаллы (сера S, Se, Te, (алмаз и графит C))
II. Сульфиды и подобные им соединения (арсениды); сульфосоли	2. Сульфиды 0,3-0,4 % (вместе с сульфатами). 3. Сульфосоли	Пирит (серный или железный колчедан) $\text{FeS}_2$ , халькопирит, $\text{CuFeS}_2$ , галенит $\text{PbS}$ , сфалерит $\text{ZnS}$ , киноварь $\text{HgS}$ .
III. Галогенидные соединения (галогениды)	4. Галогениды (хлориды, фториды, бромиды, иодиды); 0,5 %	Галит $\text{NaCl}$ , флюорит $\text{CaF}_2$ сильвин $\text{KCl}$
IV. Окислы и гидроокислы	5. Окислы.	Кварц $\text{SiO}_2$ , корунд $\text{Al}_2\text{O}_3$ , гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
	6. Гидроокислы; Около 17 %, в т.ч. кварц 12,6 % (вместе с халцедоном и опалом); окислы и гидроокислы железа 3,6 %	Опал $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ , лимонит (бурый железняк) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$
V. Арсениты и их аналоги	7. Арсениты и их аналоги (сульфиты, антимониты, теллуриды)	Аурипигмент $\text{As}_2\text{S}_3$ , антимонит $\text{Sb}_2\text{S}_3$
VI. Кислородные соли (окисоли)	8. Карбонаты (1,7 %);	Кальцит $\text{CaCO}_3$ , магнезит $\text{MgCO}_3$ , доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
	9. Нитраты	Нитронатрит (натриевая селитра) $\text{NaNO}_3$
	10. Бораты	Тинкал («бура») $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
	11. Сульфаты	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ангидрит $\text{CaSO}_4$ , мирабилит



1	2	3
VI. Кислородные соли (оксисоли)	12. Хроматы	Крокоит $Pb [CrO_4]$
	13. Молибдаты	Повеллит $CaMoO_4$
	14. Вольфраматы	Вольфрамит – группа минералов состава $(Fe,Mn,Mg)WO_4$
	5. Фосфаты (0,7 %)	Апатит $Ca_5(F,Cl)(PO_4)_3$
	16. Арсенаты	Эритрин $Cu_2(AsO_4)^{2-} \cdot 8H_2O$ , Скородит $Fe(AsO_4) \cdot 2H_2O$ .
	17. Ванадаты	Ванадинит $Pb_6[VO_4]_3Cl$ .
	18. Силикаты (~ 75 %, в т. ч. полевые шпаты 55 %):	
	А. Островные силикаты	Оливины, гранаты, циркон, топаз, ставролит, ортит, родонит и др.
	Б. Кольцевые силикаты	Берилл (разновидность изумруд), турмалин;
	В. Цепочечные силикаты	Пироксены (энстатит, гиперстен, диопсид, авгит и др.);
	В. Цепочечные силикаты	Пироксены (энстатит, гиперстен, диопсид, авгит и др.);
	Г. Ленточные силикаты	Амфиболы (актинолит, жадеит, роговая обманка и др.);
	Д. Слоистые силикаты	Тальк, серпентин, хризотил-асбест, слюды (мусковит, флогопит, биотит), гидрослюда (вермикулит, глауконит), хлориты, минералы глин (каолинит, монтмориллонит и др.);
	Д. Слоистые силикаты	Тальк, серпентин, хризотил-асбест, слюды (мусковит, флогопит, биотит), гидрослюда (вермикулит, глауконит), хлориты, минералы глин (каолинит, монтмориллонит и др.);
	Е. Каркасные силикаты	Полевые шпаты: калиевые (микроклин, ортоклаз), кальциево-натриевые: (альбит, анортит, лабрадор); нефелин и др.
VII. Органические соединения	19. Органические соединения	Янтарь, жемчуг, гагат, озокерит (горный воск)

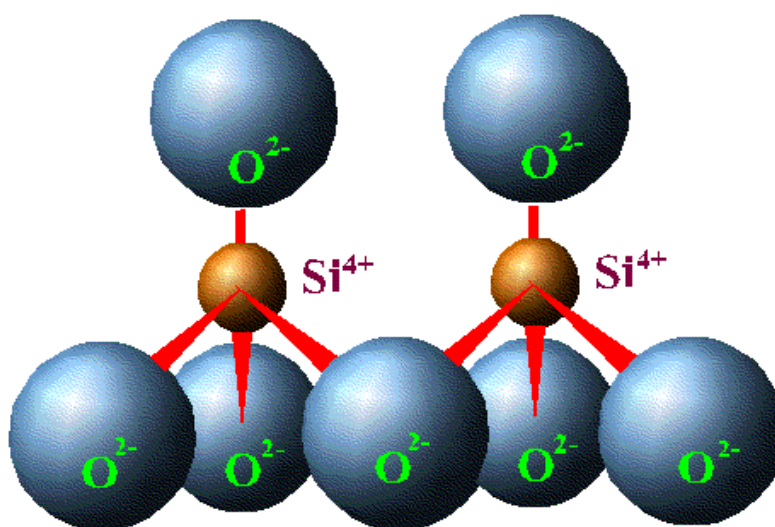


Рисунок 1.2.7 – Кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4^{4-}$  (17)

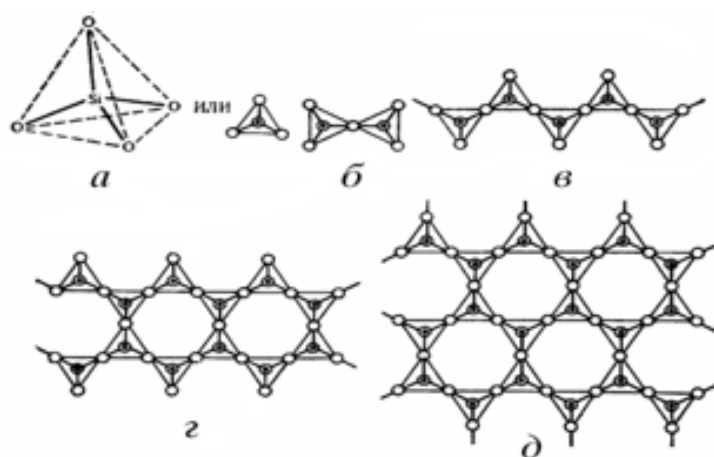


Рисунок 1.2.8 – Типы структур силикатов (18): а, б – островная, в – цепочечная, г – ленточная (из колец), д – слоистая

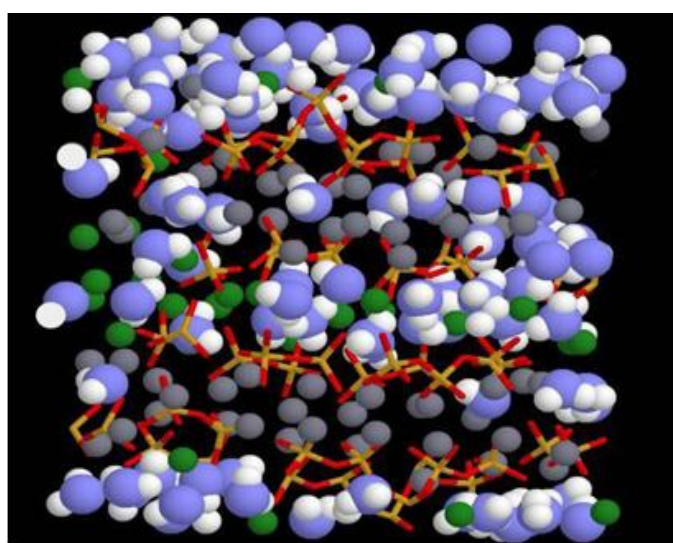


Рисунок 1.2.9 – Молекулярная модель каркасной структуры (19): синим и белым цветом показаны атомы кислорода и водорода, зелёным и серым – атомы кальция, жёлтыми и красными палочками – атомы кремния и кислорода в тетраэдрах

*Применение минералов.* Современная земная цивилизация основана на использовании минералов. Начиная от первых примитивных орудий труда, изготовленных из кремня, добычи при помощи него огня, до самых современных микросхем, также изготовленных на кремниевой основе (!). Все металлические изделия изготовлены из рудных минералов, добытых в разное время из земной коры. Все каменные здания и сооружения построены из строительных материалов, изготовленных из минерального сырья. Основу современных искусственных материалов также составляют природные минералы и вещества. Здесь мы приведем только некоторые, наиболее важные и распространенные примеры использования природных минералов в строительстве и промышленности (табл. 1.2.3).

Таблица 1.2.3 – Применение главнейших минералов

Минералы	Применение в промышленности; важнейшие особенности
1	2
Кварц	Основная составляющая песка – заполнителя цементных и бетонных растворов. Производство стекла, фарфора, огнеупоров. Металлургия. Горный хрусталь – в оптике и точных приборах; агат, халцедон и другие цветные разновидности – поделочные камни. Сырье для чистого кремния для микросхем, полупроводников, особо прочных SiC материалов
Полевые шпаты: альбит, анортит, микроклин, ортоклаз, лабрадор	Составная часть каменных строительных материалов: бутового камня, щебня, облицовочных плит; сырье для керамической и стекольной промышленности. Лабрадор – ценный облицовочный материал
Нефелин, авгит, роговая обманка	Составная часть каменных строительных материалов
Биотит, мусковит	Составная часть каменных строительных материалов; изготовление электроизоляционных плит; жаростойкие пластины
Каолинит	Входит в состав глин. Основное сырье для керамики, фарфора, фаянса. Производство огнеупоров. Бумажная и нефтяная промышленность
Монтмориллонит	Входит в состав глин. Сильно набухает в воде. Очистка нефтепродуктов и уменьшение жесткости воды. Производство водостойких бетонов. Бумажная, резиновая, парфюмерная промышленность
Тальк	Производство электроизоляции, кислото- и огнеупорных материалов. Бумажная, резиновая, парфюмерная промышленность. Медицина
Кальцит	Производство извести и цементов. В металлургии в качестве флюса. Исландский шпат – в оптике
Доломит	Строительный камень. Производство гидравлической извести и огнеупоров
Магнезит	Производство огнеупорного кирпича, точильных кругов, особо прочной штукатурки. Медицина (лекарство магнезия)
Пирит (железный или серный колчедан)	Сырье для производства серной кислоты. Вредная примесь в стройматериалах, т.к. при взаимодействии с водой образует $H_2SO_4$ , которая разрушает цемент

1	2
Халькопирит	Основная медная руда
Галенит	Руда на свинец и серебро. Изготовление свинцовых белил
Сфалерит	Руда на цинк. Изготовление цинковых белил
Киноварь	Основная руда на ртуть. Изготовление красной краски
Вольфрамит	Сырье для добычи вольфрама для твердых сплавов, ламп накаливания, сварочных электродов
Гипс	Широко применяется в строительстве в составе шпаклевки, замазки, лепнины, гипсокартона; формовочный материал. Медицина. Бумажная и химическая промышленность. Производство удобрений
Барит	Химическая промышленность и медицина – получение препаратов бария. Утяжеление буровых растворов. Составная часть штукатурки рентгеновских кабинетов
Мирабилит (глауберова соль)	Химическая, стекольная промышленность. Медицина
Галит (каменная соль)	Основной источник поваренной соли, в пищевой промышленности и технике. Сырьё для производства хлора, соды и соляной кислоты
Сильвин	Химическая, стекольная промышленность. Медицина. Мыловарение
Флюорит (плавиковый шпат)	В металлургии в качестве флюса. В химической промышленности для получения фтора и плавиковой кислоты. Изготовления эмалей и глазурей
Апатит	Производство фосфатных удобрений, спичек, фосфора, керамики
Графит	Производство карандашей и красок; электродов, плавильных тиглей, смазочных веществ. Замедлитель нейтронов в ядерных реакторах
Алмаз	Камнеобрабатывающая промышленность. Резка металлов и стекла. Бурение скважин в особо твердых породах
Сера	Химическая, бумажная, резиновая промышленность. Сельское хозяйство. Медицина

### 1.3 Основы петрографии

#### Определение, классификация и происхождение горных пород. Магматические породы. Осадочные породы. Метаморфические породы. Применение горных пород

*Горные породы* – это природные закономерные ассоциации минералов, слагающие различные геологические формации и земную кору в целом. Изучением состава и физических свойств горных пород, их происхождения и форм залегания занимается наука «петрография» (от греч. πέτρος – камень и γράφω – пишу). В англоязычных странах чаще используется термин «петрология».

В настоящее время в земной коре насчитывается около 1000 различных пород. Их состав определяется содержанием главных породообразующих минералов.

Полиминеральные породы состоят из нескольких минералов, например, гранит включает кварц, ортоклаз, роговую обманку, биотит; базальт состоит в основном из полевых шпатов, авгита, оливина. Мономинеральные породы состоят из одного минерала, например, известняк и мел состоят из кальцита; каменная соль – из галита.

Строение горных пород характеризуется структурой и текстурой. Структура породы определяется внутренним строением и состоянием минерального вещества, которое может быть кристаллическое, аморфное, обломочное, органогенное, а также размером и формой минеральных зерен или обломков породы. Текстура, характеризует внешний вид породы, и она обусловлена расположением в пространстве минералов, кристаллических зерен или обломков.

По своему генезису (происхождению) все горные породы делятся на три основные группы:

1. Магматические (первичные).
2. Осадочные (вторичные).
3. Метаморфические (видоизмененные).

Магматические породы составляют 60–65 % массы земной коры, около 30 % – метаморфические, остальные 5–10 % приходятся на долю осадочных пород, однако последние занимают до 75 % площади земной поверхности. В истории Земли первыми стали появляться магматические породы при застывании магмы, следующими возникали осадочные – в результате выветривания (разрушения) первичных магматических пород; метаморфические породы образовывались из ранее существовавших магматических и осадочных пород в результате их глубокого видоизменения под действием высоких температур и давлений.

### **Магматические горные породы**

Магматические горные породы образуются в результате застывания магмы – огненно-жидкого силикатного расплава, которое начинается при понижении температуры магмы ниже  $\sim 1000$  °С. В глубоких частях земной коры магма остывает медленно, расслаивается, хорошо кристаллизуется, и из неё формируются кристаллические зернистые породы, которые называются интрузивные или глубинные. К ним относятся граниты, сиениты, габбро, диориты и др. (рис. 1.3.1). Для этих пород характерны зернистые (полнокристаллические) структуры и однородные текстуры. Интрузивные породы залегают в земной коре в виде сплошных массивов: батолитов, штоков, лакколлитов и других тел.

Магма, излившаяся на земную поверхность в виде лавы вулканов, остывает быстро (часть её не успевает кристаллизоваться, а затвердевает в виде вулканического стекла), образуя эффузивные или изверженные породы – базальты, андезиты, трахиты, липариты и др. (рис. 1.3.2). Структуры этих пород полукристаллические или стекловатые, текстуры – неоднородные, полосчатые, шлаковые. Одновременно образуются также вулканические туфы и туфобрекчии, представляющие собой сцементированные твёрдые продукты вулканических извержений – пепел, лапилли (образования из застывшей лавы размером 1–5 см), вулканические бомбы (размером от нескольких сантиметров до 7 м) и др.

Эффузивные породы часто залегают в виде лавовых потоков и покровов, слагают вулканические конусы.

Наиболее характерное вещество в составе различных магм и магматических пород – это кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), содержание которого колеблется от 25 до 85 %. С увеличением содержания  $\text{SiO}_2$  в породах, их окраска обычно изменяется от темной к светлой, уменьшается плотность и вязкость. Главными породообразующими минералами

магматических пород являются алюмосиликаты и силикаты (полевые шпаты, кварц, слюда и др.), для эффузивных пород характерно большое количество аморфного вулканического стекла. По содержанию кремнезема выделяют пять групп магматических пород: ультраосновные, основные, средние, кислые и ультракислые.

Классификация магматических пород, наиболее важных для строительства приведена в таблице 1.3.1.

*Формы залегания* магматических пород. Формами залегания интрузивных магматических пород являются: батолиты, лакколиты, лополиты, жилы, дайки, силлы, а для эффузивных пород характерны покровы, потоки, вулканические конусы и купола (рис. 1.3.3).

*Батолит* – это наиболее крупный интрузивный массив, имеющий удлиненную, округлую или сложную форму в плане (рис. 1.3.3 и 1.3.4). Площадь батолитов – порядка 100 км<sup>2</sup>, хотя нередко они имеют площадь, в десятки тысяч км<sup>2</sup>. Например, Андский батолит имеет длину 1200 км, ширину до 100 км. Мощность батолитов составляет от 3 до 15 км. Таким образом, батолит имеют форму гигантской линзы; сложен интрузивными породами кислого или среднего состава – гранитами, гранодиоритами, диоритами. В Украине известны батолиты: Уманский, Житомирский, Богуславский, Мокро-Московский и др.

*Лакколит* – грибо- или караваеподобная форма залегания магматических интрузивных горных пород, образующаяся при внедрении магмы между слоями осадочных пород. Осадочные породы приподнимаются над интрузией в виде свода (рис. 1.3.3 и 1.3.5).

*Лополит* (рис. 1.3.6) – это согласная, межпластовая интрузия блюдцеобразной формы, залегающая в синклиналях и мульдах (складчатые структуры, обращенные сводом вниз). Размеры лополитов в диаметре могут достигать десятков километров, а мощность – многих сотен метров. Как правило, лополиты развиты в платформенных областях, сложены магматическими породами основного состава и формируются в условиях тектонического растяжения и опускания территорий. Крупнейшими лополитами являются Бушвельдский в Южной Африке и Сёдбери в Канаде.

*Жила* – это протяжённое в двух измерениях магматическое тело, образовавшееся в результате заполнения трещинного пространства горной породой или минеральным веществом (рис. 1.3.7). По форме залегания жилы могут быть: простые, плитообразные, ступенчатые, ветвистые и др.





а



б



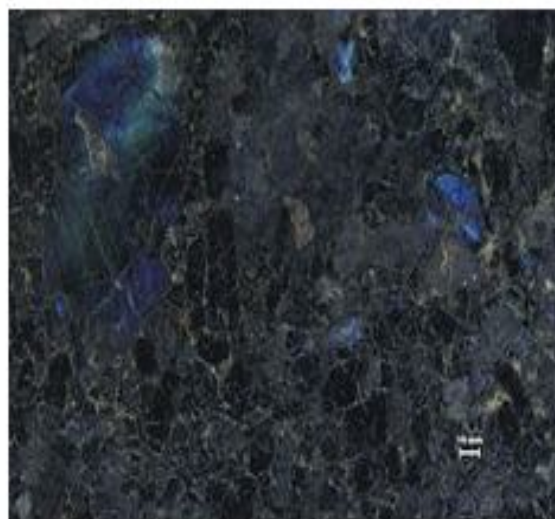
в



г



д



е

Рисунок 1.3.1 – Магматические интрузивные породы (20): а – разновидности гранита; б – габбро; в – сиенит; г – гранодиорит; д – «туманные горы» на Луне, состоящие из анортозита; е – разновидность анортозита – лабрадорит.



а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.3.2 – Магматические эффузивные породы и их образование (21): а – извержение вулкана; б – застывание лавы; в – застывшая лава; г – базальт – самая прочная порода в верхней части земной коры; д – трахит – кислотоупорный строительный камень; е – вулканический туф, имеющий шлаковую текстуру



Таблица 1.3.1 – Классификация главнейших\* магматических пород

Тип пород, по содержанию SiO <sub>2</sub> , %	Интрузивные (глубинные)	Эффузивные (изверженные)	Минералогический состав (характерный для интрузивных пород); примечания
Ультраосновные , SiO <sub>2</sub> <40 %	Пироксенит	Пикрит, коматиит	Авгит
	Перидотит		Авгит, оливин, рудные минералы
	Дунит		Оливин, рудные минералы
Основные, SiO <sub>2</sub> 40-52 %	Габбро (разновидности: норит, анортозит, в т.ч. лабрадорит)	Базальт, порфирит (устар.)**, диабаз (устар.) синоним – долерит (совр.)	Плаггиоклазы (чаще лабрадор), пироксен, иногда оливин. Анортозиты являются одной из основных пород, слагающих часть поверхности Луны – "лунные материки". На Земле анортозиты слагают крупные магматические комплексы (Украина, Канада, Финляндия), часто вместе с гранитами- рапакиви
Средние, SiO <sub>2</sub> 52-65 %	Диорит	Андезит, порфирит	Полевые шпаты (чаще андезин), роговая обманка, биотит, пироксен
	Сиенит	Трахит	Ортоклаз, роговая обманка, биотит. Сиенит практически не содержит кварца – легко обрабатывается
Кислые, SiO <sub>2</sub> 65-75 %	Гранит, гранодиорит, кварцевый порфир	Липарит (синоним – риолит), дацит	Полевой шпат (чаще ортоклаз), кварц (в изверженных породах – вулканическое стекло), слюды, роговая обманка. Граниты являются самым распространенным строительным камнем и применяются очень широко

Примечания :

\*В состав главнейших включены магматические породы – скальные грунты в соответствии с ДСТУ Б.В.2.1-2-96 и ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»

\*\*Устаревшие термины «порфирит». «диабаз» не рекомендуются к использованию в научно-технической литературе

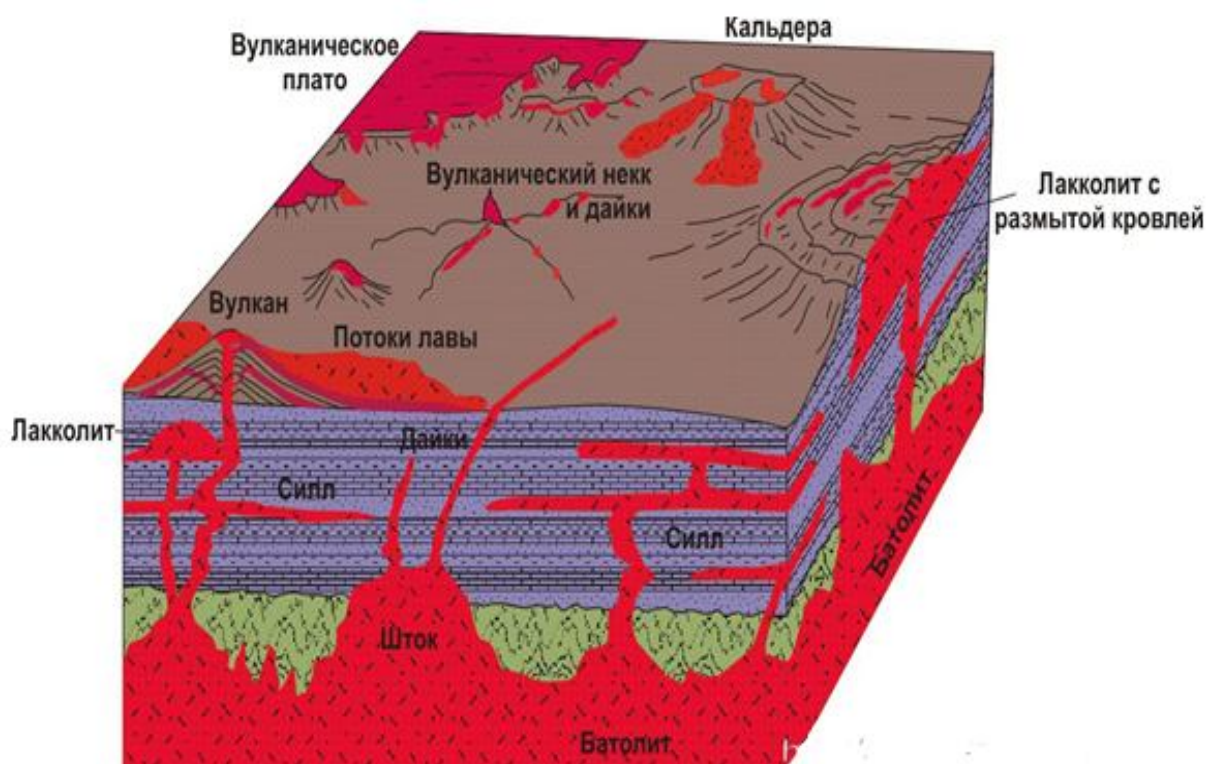


Рисунок 1.3.3 – Формы залегания магматических пород (слева направо) (22): вулканический конус, лавовый поток и покров, дайки, лакколит, силлы, магматический очаг (плутон), батолит



Рисунок 1.3.4 – Батолит Сьерра-Невада, Йосемитский Национальный парк, США (23)



Рисунок 1.3.5 – Лакколит – гора Аю-Даг, Крым (24): осадочные горные породы, включавшие интрузию, со временем разрушились, а магматические, значительно более крепкие, сохранились

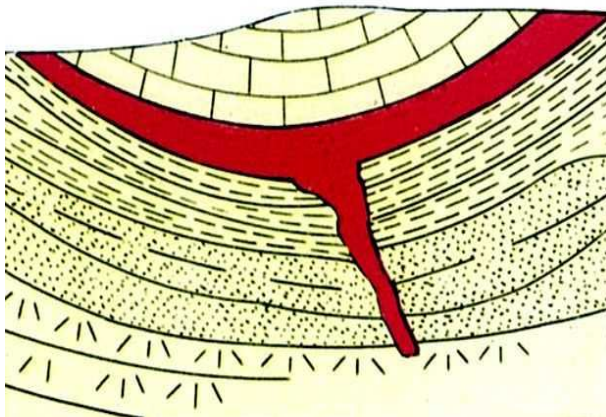


Рисунок 1.3.6 – Схема залегания лополита (25)    Рисунок 1.3.7 – Золотая жила (26)

*Дайка* – это интрузивное тело, рассекающее вмещающие породы, длина которого во много раз превышает ширину, а плоскости контактов практически параллельны (рис. 1.29). Дайки имеют длину от нескольких десятков метров до сотен километров и ширину от нескольких сантиметров до 5–10 км. Дайки характерны для областей проявления магматических процессов, часто являются подводными каналами вулканов.

*Силл* – интрузивное тело, имеющее форму слоя, контакты которого параллельны слоистости вмещающей толщи (рис. 1.30). Силлы образуются при внедрении магмы вдоль поверхностей напластования. Протяженность силлов может достигать 300 км при толщине в несколько метров. Мощность силлов колеблется от десятков сантиметров до 600 м (но чаще всего 10–50 м).





Рисунок 1.3.8 – Дайка на Кросс – Айленд, Аляска (27)



Рисунок 1.3.9 – Схема залегания силлов (28)

*Покров* – форма поверхностного залегания эффузивных горных пород, характеризующаяся горизонтальной или слегка наклонной поверхностью и равномерным развитием по площади, при значительно меньшей толщине. Верхняя и нижняя поверхности покрова в целом параллельны между собой, но нижняя определяется рельефом подстилающей поверхности, неровности которой он заполняет. Иногда наблюдаются целые системы покровов, залегающих один на другом, например, сибирские и индийские траппы (рис. 1.3.10 и 1.3.11).



Рисунок 1.3.10 – Сибирские траппы, Якутия (29)

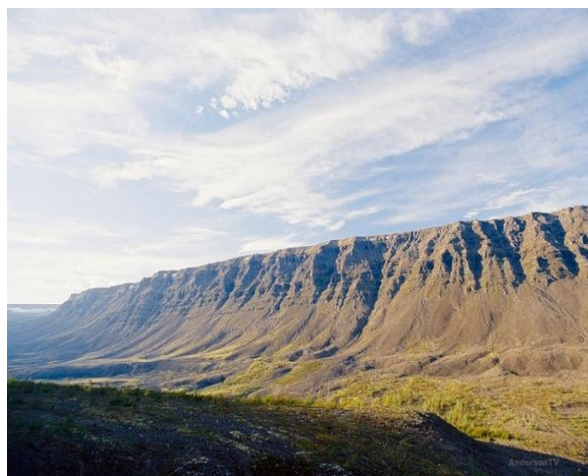


Рисунок 1.3.11 – Траппы нагорья Декан, Индия (30)

*Поток* (лавовый) – форма залегания излившейся из вулкана лавы, для которой характерна большая длина при относительно небольшой ширине и мощности (рис. 1.3.12). Длина и мощность потока зависят от вязкости лавы и уклона местности. Потоки кислых лав обычно более короткие (1–10 км) и мощные (до 25–30 м), базальтовые – длинные (до 60–80 км и более) и маломощные (вплоть до нескольких сантиметров).



Рисунок 1.3.12 – Лавовые потоки вулкана Плоский Толбачик, Камчатка (31)

*Конус* (вулканический) имеет форму конуса со срезанной вершиной и является результатом накопления продуктов извержений: лавы и рыхлого материала вокруг жерла. Тонкообломочный материал (вулканический пепел) образует склоны с углом  $30\text{--}35^\circ$ , а более грубый материал, скапливающийся вблизи кратера, создает угол склона до  $40^\circ$  и более. Большинство крупных вулканов мира являются сложными конусами, состоящими из слоев пепла, шлака и лавовых потоков. На склонах главного конуса многих вулканов располагаются мелкие паразитические конусы и разломы, из которых вытекают потоки лавы (рис. 1.3.14).



Рисунок 1.3.13 – Схема строения вулканического конуса (32)

*Купол* – это форма залегания эффузивных пород, которые образуются при застывании очень вязкой гранитной лавы в жерле вулкана (рис. 1.3.14). Накопление газов, перегретых водяных паров под куполом в запертом жерле нередко приводят к мощным взрывам, разрушающим часть вулкана (а иногда и весь!).





Рисунок 1.3.14 – Очень вязкая лава, кислого состава, «запирает» жерло вулкана при застывании (33)

### Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образуются в условиях относительно низких температур и давлений на земной поверхности, вблизи неё или в водоемах. Изучением осадочных горных пород занимаются разделы геологии «литология» и «седиментология».

Процесс формирования осадочной горной породы называется литогенезом и состоит из нескольких стадий:

- образование осадочного материала путем разрушения исходных пород действием физического и химического выветривания, деятельности живых организмов;
- перенос осадочного материала под действием гравитационных сил, водных и воздушных потоков;
- седиментогенез – отложение и накопление осадка в воздушной или водной среде;
- диагенез – преобразование рыхлого осадка в осадочную горную породу путем уплотнения и, нередко природной цементации.

По способу образования осадочные породы подразделяются на три основные генетические группы: обломочные, органогенные и хемогенные.

*Обломочные* или *терригенные* породы (глыбы, пески, алевриты, брекчии, конгломераты и др.) – продукты преимущественно механического разрушения ранее существовавших пород, обычно сохраняющие наиболее устойчивые минеральные ассоциации последних (рис. 1.3.15). Сюда относят также глинистые породы, состоящие из тонкодисперсных продуктов глубокого химического преобразования силикатных и алюмосиликатных минералов исходных пород, перешедшие в новые минеральные виды – глинистые минералы.

*Органогенные породы* – это продукты, образующиеся при участии организмов, например, кремнистые и известковые породы; накопления и преобразования растительных остатков (например, торф, угли) или продукты отмирания и накопления раковин, известковых скелетов морских организмов (например, органогенные известняки) (рис. 1.3.16).



а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.3.15 – Осадочные обломочные породы (34): а – глыбы (Крым, п. Орджоникидзе), б – валунный конгломерат; в – галька; г – песок (песчаные дюны, Вьетнам); д – суглинок красноватый и глина зеленовато-желтая (заброшенный карьер в с. Бражники, Харьковский р-н); е – мергель (порода, состоящая из глинистого и карбонатного материала)





а



б



в



г



д



е



е

Рисунок 1.3.16 – Осадочные органогенные породы (35): а – ракушечник; б – мел (меловые горы на р. Оскол в Харьковской области); в – каменный уголь; г – диатомит (кремнистая порода, состоящая из остатков диатомей); д – микрофотографии диатомей – микроскопических водорослей опалового состава; е – коралловый риф и образующийся из остатков рифов коралловый известняк (мегалитические дольмены на о. Мальта)

*Хемогенные породы* – продукты непосредственного осаждения из растворов, например, гипс, каменная соль (рис. 1.3.17). Между основными группами осадочных пород наблюдаются взаимные переходы, возникающие в результате смешения материала разного генезиса.

Промежуточное положение между осадочными и вулканическими породами занимает группа *пирокластических* – эффузивно-осадочных пород – вулканические туфы, пеплы, туфобрекчии, туффиты (рис. 1.3.18).

Характерной особенностью осадочных горных пород, связанной с условиями образования, является их слоистость – залегание в виде более или менее правильных пластов, зависимость состава и свойств от климата, и возможность наличия окаменевших остатков растений и животных.

Осадочные породы по составу слагающих их компонентов резко отличаются от магматических и метаморфических пород своей общей неоднородностью, т.к. они чаще всего формируются из разнообразных источников вещества, а в последнее время к природным компонентам добавляются и техногенные.

Больше половины (до 60 %) объёма осадочных пород земной коры составляют относительно молодые терригенные комплексы, представленные мощными толщами глин и суглинков; на втором месте (15–17 %) – рыхлые и сцементированные обломочные породы с размером обломков от глыбово-блоковых до тонкопесчаных и алевритовых. Содержание биогенных карбонатных пород – 10–13 %, а кремнистых – 1–2 %. Хемогенные породы (известняки, доломиты, сидериты, соли и др.) составляют 6–7 %.

Классификация основных осадочных пород, используемых в строительстве в качестве оснований для зданий и сооружений, а также для производства строительных материалов приведена в таблице 1.3.2.

### **Метаморфические горные породы**

Метаморфические горные породы образуются в толще земной коры в результате глубокого изменения (метаморфизма) осадочных или магматических пород под действием высоких температур и давлений. Процесс метаморфизма протекает без расплавления горной породы, в большинстве случаев в интервале температур от 100 до 1000 °С.

Факторами, вызывающими изменения пород, могут быть: близость остывающего магматического очага и связанное с этим нагревание соседних горных пород (контактовый метаморфизм). При этом, например, известняки и другие карбонатные породы преобразуются в скарны, а глины – в роговики. Воздействие отходящих от магмы перегретых водных растворов, насыщенных растворенными газами и активными химическими соединениями (гидротермальный и пневматолитовый метаморфизм), приводит к образованию грейзенов, пропилитов и др. Глубокие изменения минерального состава и состояния породы вызывает её погружение в толщу земной коры, где совместно действуют факторы регионального метаморфизма – высокие температуры и давления. Для регионально метаморфизованных пород (многочисленных видов сланцев, филлитов, гнейсов) характерны сланцеватая текстура, наличие ряда специфических минералов (кианит и др.), иногда сохраняются реликтовые структуры исходных пород. При тектонических деформациях горные породы подвергаются очень сильному давлению при относительно невысокой температуре. Так возникают породы *дислокационного метаморфизма* (динамометаморфизма) – тектонические брекчии, милониты, катаклазиты.

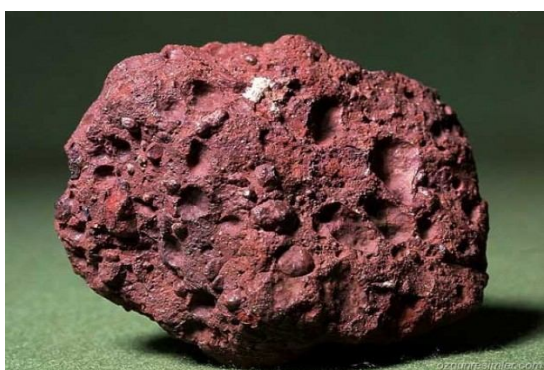




а



б

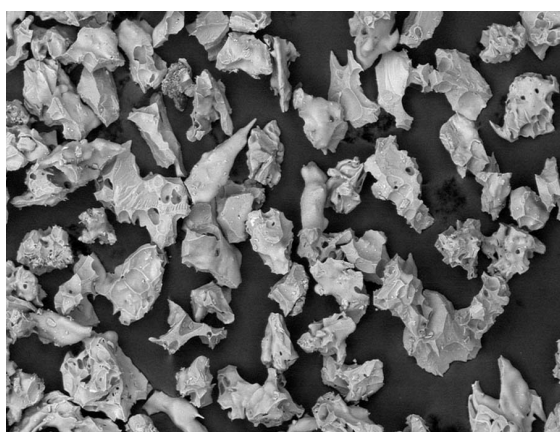


в



г

Рисунок 1.3.17 – Осадочные хемогенные породы (36): а – каменная соль из залива Кара-Богаз-Гол, Туркмения; б – доломит; в – боксит – основная руда на алюминий; г – гипс-селенит, Урал.



а



б

Рисунок 1.3.18 – Пирокластические (вулканогенно-осадочные) породы (37): а – вулканический пепел под микроскопом; б – туффит, состоящий из вулканического, обломочного и органического материала



Таблица 1.3.2 – Классификация главнейших\* осадочных горных пород

Обломочные (терригенные) породы	Породы без структурных связей между обломками		Породы со слабыми структурными связями	Сцементированные породы	
	угловатые	окатанные			
	Крупнообломочные	Глыбы			Валуны
	Щебень	Галька			
	Дресва	Гравий			
Песчаные	Пески			Песчаник	
Мелкообломочные	Алеврит			Алеврит	
Тонкообломочные, пылевато- и песчано-глинистые			Глина, лёсс, суглинок, супесь	Сцементированная глина, аргиллит	
Органогенные породы	Кремнистые		Трепел, опока, диатомит		
	Карбонатные		Органогенные известняки, в том числе ракушечник, мел		
	Углеродистые (каустобиолиты)		Торф, бурый уголь, каменный уголь, природные асфальты, озокерит		
Смешанные органогенно-минеральные породы и почвы			Илы, сапропели, заторфованные и заиленные глины и пески, почвы		
Хемогенные породы	Кремнистые		Кремни, кремнистый туф		
	Карбонатные		Известняк, известковый туф, доломит, мергель		
	Сульфатные		Гипс, ангидрит		
	Галоидные		Каменная соль, калийная соль		
	Аллитовые		Бокситы		
Вулканогенно-осадочные (пирокластические) породы	Несвязные рыхлые		Сцементированные		
	Вулканогенно-обломочные породы, вулканические пески, пеплы		Вулканический туф, туффит, туфобрекчия, туфопесчаник, туфоалеврит, туфоаргиллит, кластолавы, лавовые брекчии		

В целом типичными метаморфическими породами являются разные по составу гнейсы (наиболее распространенная порода, занимающая большие площади на территории Украины, на Урале), глинистые и кристаллические сланцы, кварцит, мрамор, контактовые роговики, скарны, амфиболит и др. (рис. 1.3.19 и 1.3.20). Различие в происхождении и, как следствие этого в минеральном составе пород, резко сказывается на их физико-механических свойствах.

*Минеральный состав* метаморфических пород разнообразен, они могут состоять из многих сложных силикатов или из одного минерала, например, кварца (кварцит) или кальцита (мрамор). Главные породообразующие минералы представлены кварцем,

Примечания:

В состав главнейших включены осадочные породы – скальные и дисперсные грунты в соответствии с ДСТУ Б.В.2.1-2-96 и ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»

\*\*Карбонатные породы часто имеют смешанное хемогенно-органогенно-обломочное происхождение, например мергель, глинистые известняк и доломит и др.

полевыми шпатами, слюдами, пироксенами и амфиболами. Наряду с ними наблюдаются типично метаморфические минералы: кордиерит, гранаты, андалузит, дистен. В слабометаморфизованных породах присутствуют тальк, хлорит, актинолит.

Классификация метаморфических пород основана на их текстурных особенностях, в соответствии с которыми выделяются две подгруппы пород – массивная и сланцеватая. Кроме того, иногда используются подразделения по химическому составу. Классификация основных метаморфических пород применительно к строительству и промышленности приведена в таблице 1.3.3.

### Применение горных пород

Горные породы, как составляющие земной коры, используются в качестве оснований всех зданий и сооружений, а также в качестве непосредственно строительных материалов или сырья для их производства.

Изучением естественных оснований, их физико-механических свойств занимается раздел инженерной геологии, который называется «грунтоведение»; взаимодействие грунтовых оснований с сооружениями изучает дисциплина «механика грунтов».

Таблица 1.3.3 – Классификация главнейших\* метаморфических пород

Состав пород	Текстура	
	массивная	сланцеватая
Силикатные	Кварцит, роговики, скарны, грейзены, березит, пропилиты, вторичные кварциты	Гнейсы, сланцы (кристаллический, глинистый, слюдяной, тальковый и др.), амфиболит
Карбонатные	Мрамор	
Железистые		Джеспилиты, железистые кварциты
Органогенно-минеральные	Антрацит**	Горючие сланцы

Здесь предварительно отметим, что наилучшими естественными основаниями могут служить магматические и метаморфические породы. Осадочные породы могут быть как хорошим основанием для зданий и сооружений (прочные брекчии, конгломераты, песчаники, плотные глины и др.), так и плохим (рыхлые пески, текучие глины, торф, ил, гипс, каменная соль и др.). Возможность использования горных пород, залегающих на месте будущего строительства в качестве естественного основания, а также для производства строительных материалов определяется при выполнении инженерно-геологических изысканий.

Примечания:

\* В состав главнейших включены преимущественно метаморфические породы – скальные грунты в соответствии с ДСТУ Б.В.2.1-2-96 и ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».

\*\*Антрацит – уголь наиболее высокой степени углефикации (метаморфизма) традиционно относится к осадочным породам

Горные породы всегда служили и служат основными составляющими наиболее распространенных строительных материалов. Для качественной оценки долговечности некоторых каменных материалов из различных пород приведем усредненные данные в таблице 1.3.4.

Примеры их применения в производстве строительных материалов приведены в таблице 1.3.5, а отдельные примеры использования горных пород при создании различных зданий и сооружений на рисунке 1.3.21.

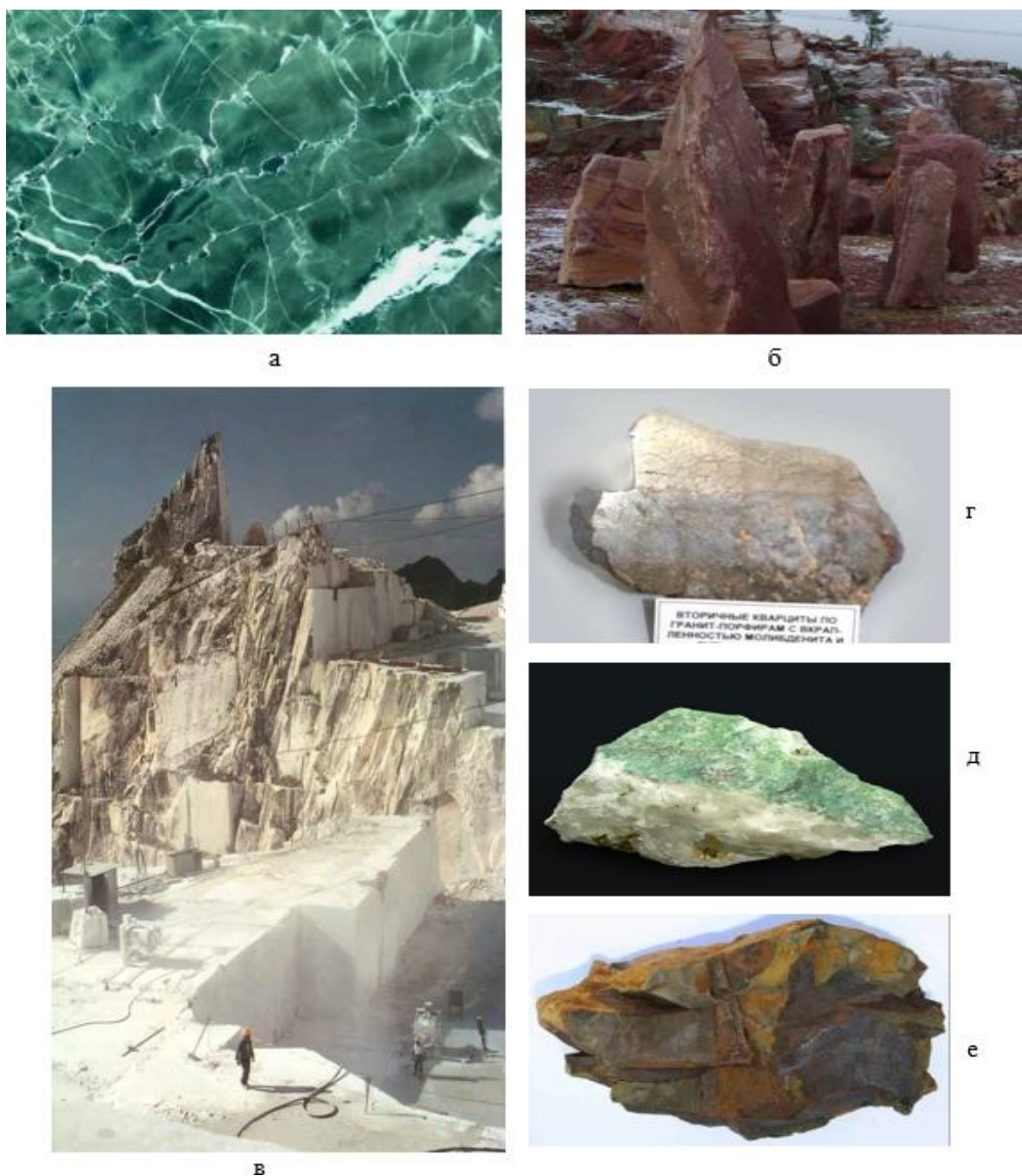


Рисунок 1.3.19 – Метаморфические породы массивной текстуры (38): а – зеленый мрамор; б – кварцит, часто имеющий розовый цвет; в – карьер белоснежного мрамора в Карраре, Италия; г – вторичный кварцит; д – березит (признак золотых руд), Урал; е – роговик, с характерным раковистым изломом



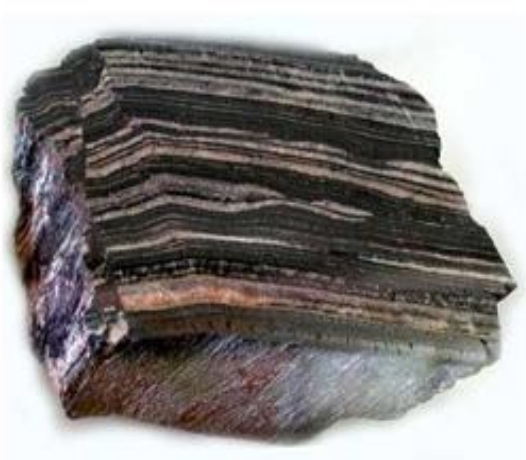
а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.3.20 – Метаморфические породы сланцеватой текстуры (39): а – гнейс (наиболее распространенная метаморфическая порода); б – джеспилит; в – глинистый сланец; г – железистый кварцит (железная руда); д – горючий сланец; е – скарн



Таблица 1.3.4 – Качественная оценка долговечности некоторых горных пород

Характеристика	Название пород	Появление признаков разрушения через лет
Весьма долговечные	Кварцит, мелкозернистый гранит, плотный базальт	500-600
Долговечные	Крупнозернистый гранит, гнейс, габбро, диорит, сиенит, лабрадорит, брекчия	200-300
Средне долговечные	Белый мрамор, песчаник, доломит, плотный известняк	100-150
Недолговечные	Цветной мрамор, неплотный известняк, вулканический туф	25-75
Весьма недолговечные	Гипс, ракушечник	5-15

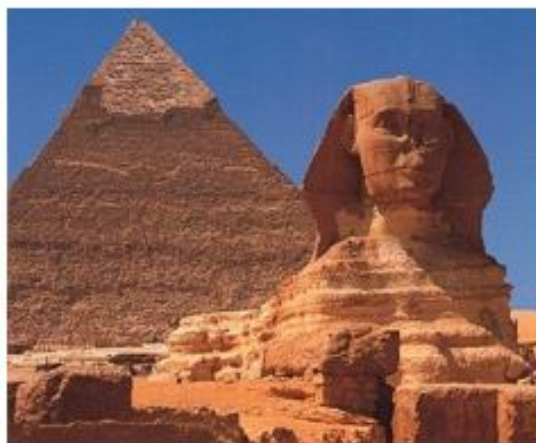
Таблица 1.3.5 – Примеры использования горных пород в строительном производстве

Область применения	Горные породы		
	магматические	осадочные и пирокластические	Метаморфические
Бутовый камень,	Гранит, габбро, диорит, базальт, диабаз и др.	Глыбы, валуны, конгломерат, брекчия	Гнейс, кварцит, амфиболит, сланцы и др.
Щебень		Щебень, галька	
Гравий		Дресва, гравий	
Песок		Различные пески, вулканический песок	
Камень для гидросооружений, дорожные бордюры и брусчатка	Гранит, габбро, базальт и др.	Брекчия и др. породы достаточной прочности	Амфиболит, гнейс, кварцит
Плиты для полов, ступеней, облицовки стен	Гранит, сиенит, габбро, диорит, лабрадорит,	Песчаник, брекчия, вулканический туф (для облицовки)	Мрамор, кварцит, гнейс
Кислотоупорный камень	Трахит, базальт		Кварцит
Каменное литье	Базальт и др.		
Стеновые блоки		Ракушечник, туфы, пористые известняки	
Строительная известь		Известняк, мел, мергель	
Гидравлическая известь		Доломит, мергель	
Портландцемент		Известняк, гипс	
Вяжущие вещества		Гипс, глина, ангидрит	
Различные виды стекла	Вулканическое стекло	Кварцевый песок	
Кирпич		Глина, суглинок, песок	
Кровельные материалы		Глина	Сланцы
Теплоизоляционные материалы	Базальтовое волокно	Торф, ракушечник, вулканический туф, пемза	Теплоизоляционные материалы
Керамика		Глина	Керамика





а



б



в



г



д



е

Рисунок 1.3.21 – Применение горных пород в сооружениях и памятниках (40): а – базальт и вулканический туф, изваяния на острове Пасхи; б – известняк, сфинкс и пирамиды, Египет; в – кварцит, гробница Наполеона, Франция; г – белый полупрозрачный мрамор, мавзолей Тадж-Махал, Индия; д – лабрадорит, памятник Шевченко, г. Харьков; е – гранит, памятник Бекетову, г. Харьков

## 1.4. Стратиграфия и геохронология

**Определение стратиграфии и геохронологии. Абсолютный и относительный возраст горных пород. Ископаемые остатки организмов. Геохронологическая шкала. Четвертичные отложения**

Для оценки свойств горных пород, в том числе с целью использования для строительства, необходимо установить их возраст и условия залегания. Показатели возраста пород указывают во всей геологической документации, на геологических разрезах и картах. Общие закономерности условий развития и изменений земной коры изучает историческая геология, а непосредственно залегание слоев осадочных пород отдельных территорий и их возраст – стратиграфия и геохронология.

*Стратиграфия* (от лат. stratum – слой, настил и древнегреч. γράφω – пишу, черчу, рисую) – это раздел геологии, который занимается изучением залегания осадочных (и пирокластических) горных пород и определением их относительного геологического возраста. Стратиграфию какого-либо района составляет последовательность напластования слагающих его пород, положение других геологических образований, которые изображают на геологических разрезах.

В основе стратиграфии заложены два теоретических принципа: закон напластования *Стено* и закон соответствия флоры и фауны Гексли. Согласно закону напластования, введённому в геологию Николасом Стено ещё в XVII веке, пласты горных пород лежащие выше, как правило, являются более молодыми, чем залегающие глубже. Согласно закону Гексли, слои, содержащие остатки одинаковых ископаемых видов живых организмов, имеют одинаковый возраст.

*Геохронология* – это учение о хронологической последовательности формирования и возрасте горных пород, слагающих земную кору. Различают абсолютную и относительную геохронологию.

*Абсолютная геохронология* устанавливает, т.н. абсолютный возраст горных пород, выраженный в единицах времени (обычно в миллионах лет). Для определения абсолютного возраста разработаны методы, основанные на изучении процессов радиоактивного распада урана, тория, рубидия, изотопа углерода  $C_{14}$  и других элементов, которые содержатся в минералах, составляющих горные породы. Например, определив в минерале уранинит совместное содержание  $U_{238}$  и один из продуктов его радиоактивного распада  $Pb_{206}$ , можно узнать время, прошедшее с момента образования минерала и породы, то есть их абсолютный возраст.

*Относительная геохронология* заключается в определении относительного геологического возраста горных пород, т.е. какие отложения в земной коре являются более молодыми, а какие более древними. Относительный возраст пород имеет специальные буквенные и цифровые обозначения, а на геологических картах и разрезах обозначается определенным цветом.

Для установления возраста пород и сравнения стратиграфии удалённых друг от друга территорий (материков, стран, регионов) используется палеонтологический метод, основанный на изучении окаменевших остатков и следов вымерших животных и растений захороненных в пластах горных пород. Лучше всего сохраняются остатки водных организмов (морские раковины, кораллы, скелеты и зубы рыб и др.) (рис. 1.4.3 – 1.4.4), но



нередко находят и следы жизни на суше: отпечатки листьев деревьев, окаменевшие скелеты наземных животных, следы лап и т.д. (рис. 1.4.5 – 1.4.7). Сопоставление окаменелостей из различных пластов позволило установить закономерности процесса развития органической жизни и выделить в истории Земли ряд геологических этапов со свойственным каждому из них комплексом флоры и фауны. Горные породы, образованные в эти этапы, составляют основу общей стратиграфической шкалы, а время, за которое образовались эти породы, основу геохронологической шкалы.



Рисунок 1.4.1 – Окаменевшие двустворчатые моллюски и аммониты (41)

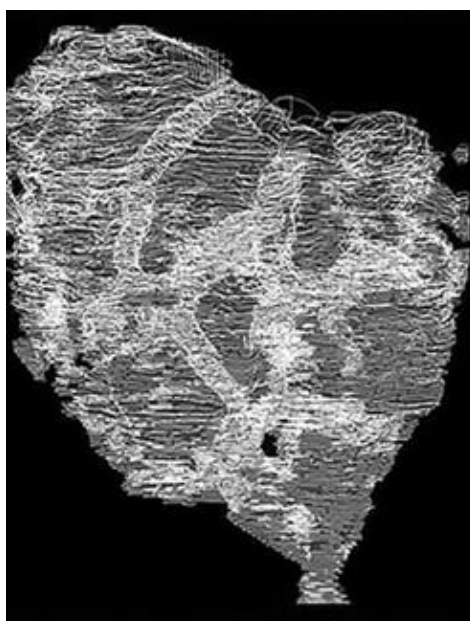


Рисунок 1.4.2. Первое живое существо на Земле (42)

Геологи из Принстонского университета исследовали в Южной Австралии породу, в которой сохранились остатки организмов живших ~ 700 миллионов лет назад – в верхнем протерозое. Старше их еще никого не находили. Возможно, это вообще первые обитатели Земли. Они похожи на губку – примитивное беспозвоночное существо, которое не имело еще отдельных органов и тканей. Размер существ – около сантиметра и они представляют собой гроздь вытянутых эллиптических пузырей. А по структуре похожи на губки *Namacalathus*, представители которых существуют до сих пор. Таким образом, первые губки появились еще до глобального оледенения, которое произошло примерно 640 миллионов лет назад, когда Земля полностью покрылась мощным слоем льда, и непонятно как они это пережили.



Рисунок 1.4.3 – Ракоскорпион (43)

Останки ракоскорпионов были обнаружены на третьем калийном горизонте рудника «Беларусь-калий». Найденные членистоногие, из отряда Eurypterida, обитали в девонский период палеозойской эры, их возраст не менее 360 млн лет. Это самые крупные членистоногие, когда-либо существовавшие на Земле. Найденный ракоскорпион – рекордсмен: его длина составляет 34 см.

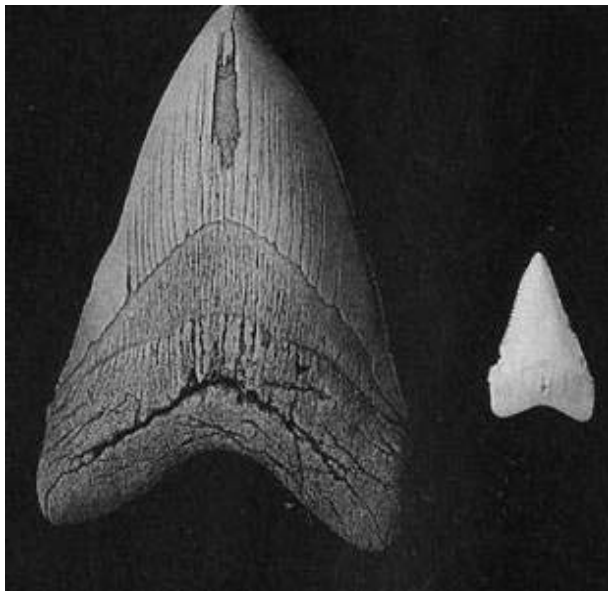


Рисунок 1.4.4 – Зуб мегалодона и современной белой акулы (44)

Мегалодон (греч. Μέγας и ὀδούς – большой зуб) – вымерший вид акул, останки которого находят в отложениях от позднего олигоцена (~28 млн лет назад) до плейстоцена (1,5 млн лет назад). Эта акула имела гигантские размеры, достигала длины 16 метров и веса 47 тонн – один из самых крупных хищников за всю историю Земли. Этот «суперхищник» питался крупными морскими обитателями – китообразными и большими рыбами.



Рисунок 1.4.5 – Отпечаток растения и, предположительно, след детеныша птеродактиля на плите каменного угля, шахта Благодатная, г. Павлоград, Днепропетровская область (45)





Рисунок 1.4.6 – Отпечаток земноводного (*Seymouria bayorensis*), характерного для пермского периода в Северной Америке (46)



Рисунок 1.4.7 – Окаменевший скелет лемура (47): Данное существо, возможно, является «недостающим звеном» между обезьяной и человеком. Окаменелость была найдена в карьере недалеко от Дармштадта, Германия

*Геохронологическая* (хроностратиграфическая) шкала – это шкала относительного геологического времени, построенная на основе определенных исторической геологией этапов формирования земной коры и, установленных палеонтологией, истории развития различных форм жизни на Земле. Она представляет собой последовательность стратиграфических элементов в соответствии со временем их образования. Геохронологическая шкала имеет вид полной идеальной геологической колонки всех земных отложений без пропусков и является эталоном для корреляции различных местных стратиграфических единиц. Границы между стратиграфическими элементами проходят по существенным событиям геологических изменений земной коры или этапам эволюции живых организмов. Современная геохронологическая шкала приведена на рисунке 1.4.8.

*Хроностратиграфия* - это раздел стратиграфии, который направлен на установление возраста геологических объектов для периодизации истории Земли. На геохронологической (хроностратиграфической) шкале приведена наиболее современная версия хронологии развития нашей планеты.

Постоянную работу по стандартизации и обновлению Международной хроностратиграфической шкалы – International Stratigraphic Chart (ICC) проводит Международная Комиссия по Стратиграфии (ICS) – наибольшая и самая старшая в Международном союзе геологических наук (IUGS). Ее основная цель заключается в том,



чтобы точно зафиксировать глобальные стратиграфические единицы (группы, системы, отделы), которые являются основой для элементов времени (эры, периоды, эпохи) Международной геохронологической шкалы, устанавливая, таким образом, общие стандарты фундаментального масштаба для отражения истории Земли.

Подкомиссия по стратиграфической информации разрабатывает сводную таблицу стратотипов Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP), на основе которой периодически обновляется и совершенствуется Международная хроностратиграфическая шкала. Современная геохронологическая шкала является результатом почти двухвековой работы ученых-геологов. Современная версия шкалы ICC приведена по данным на январь 2015 года.

*Геохронологическая шкала* отражает естественные этапы в истории Земли в восходящем порядке от самых древних к современному этапу. В левом верхнем углу – голоцен (т.е. геологическое «наше время»). В правом нижнем – самый ранний период существования планеты.

Основные единицы подразделений этой шкалы: эоны, эры, периоды, эпохи, века. Стратиграфические подразделения являются неотъемлемыми составляющим геохронологической шкалы, ее вещественным выражением. Если главным объектом геохронологической шкалы является геологическое время, то объектом стратиграфической части шкалы являются комплексы горных пород, образовавшиеся в течение этого геологического времени. Каждому геохронологическому подразделению соответствует стратиграфическое подразделение: эре – группа, периоду – система и т.д. (табл. 1.4.1). В иностранной литературе группы называют эратемами, отделы – сериями, а ярусы – стадиями

Таблица 1.4.1 – Соотношение геохронологических и стратиграфических единиц

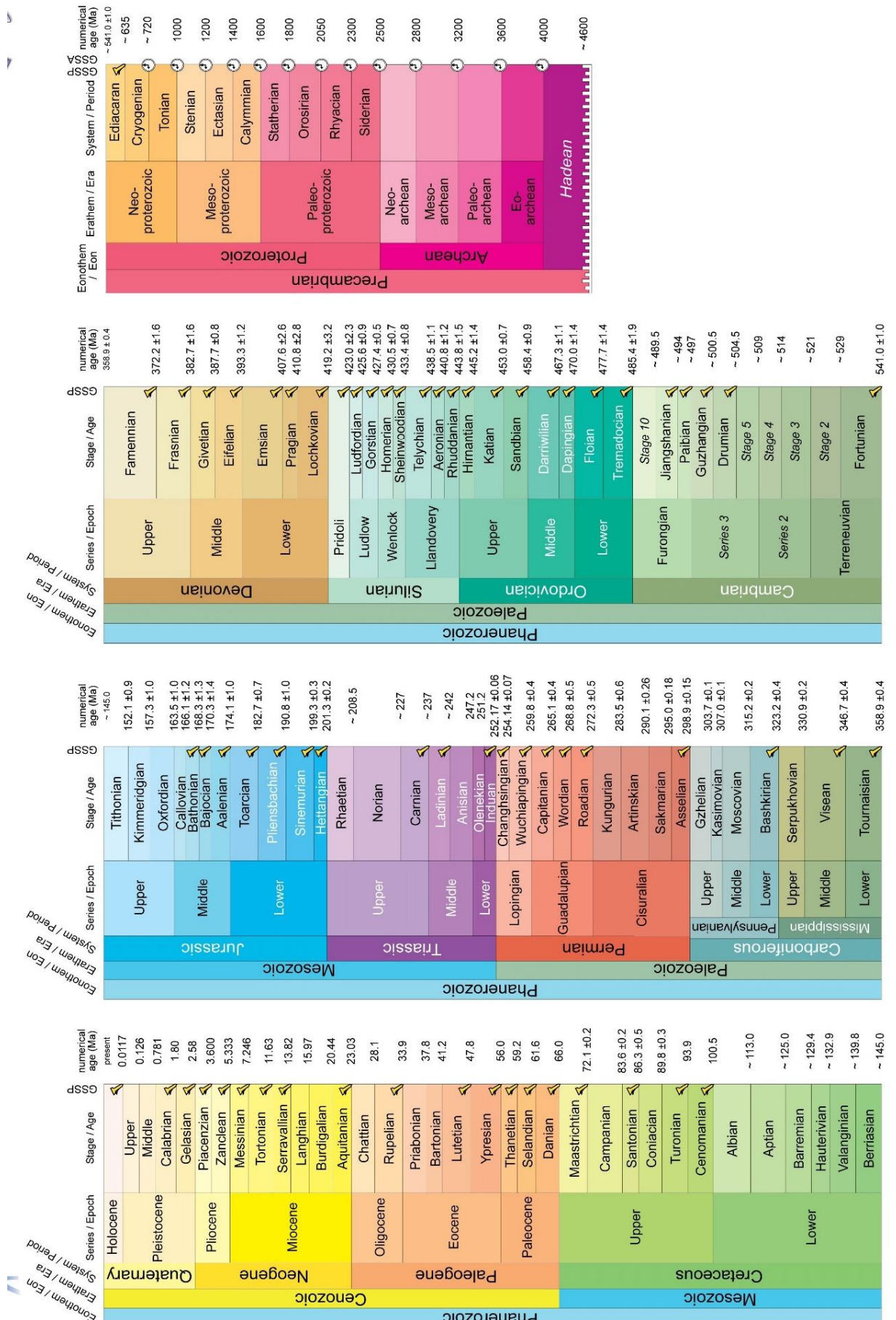
Отрезки геологического времени по геохронологической шкале	Комплексы слоев горных пород по стратиграфической шкале
Эон	Эонотема
Эра	Группа (эратема)
Период	Система
Эпоха	Отдел (серия)
Век	Ярус (стадия)

Названия каждого подразделения в геохронологической шкале, чаще всего происходят от греческих слов (др.-греч. ἀρχαῖος – археос – древний, φανερός – фанерос – явный, ζωή – зое – жизнь и т.д.) или от места, где они впервые были выделены. Кроме того, каждое подразделение имеет свой строго определенный цвет (например, юра – синий, неоген – лимонно-желтый и т.д.) и индекс, который состоит из начальных букв названия подразделения и цифр. Например, названия эр (групп) обозначаются двумя заглавными буквами: архей – AR, кайнозой – KZ и т.д. Периоды (системы) обозначают одной заглавной буквой: четвертичный период – Q, юрский период – J, меловой период – K. Эпохи (отделы) обозначаются с помощью цифровых нижних индексов: поздне триасовая эпоха – T<sub>3</sub>, средне триасовая – T<sub>2</sub>, ранне триасовая – T<sub>1</sub>. Индекс яруса размещают справа от индекса отдела в виде одной или двух строчных букв в названии

яруса. Две буквы используются в тех случаях, когда в одной системе имеются ярусы, названия которых начинаются с одинаковой буквы. При этом в индексе более древнего яруса указывается одна строчная начальная буква из названия яруса, а в индексе более молодых ярусов будут две буквы из названия яруса (первая и ближайшая согласная). Например : франкий ярус верхнего девона D<sub>3</sub>f, фаменский ярус верхнего девона – D<sub>3</sub>fm; лландоверийский ярус нижнего силура – S<sub>1</sub>l, лудловский ярус верхнего силура – S<sub>2</sub>ld.

ЭПОХА (ЭРА)		СИСТЕМА/ПОДСИСТЕМА (ПЕРИОД)		ОТДЕЛ (ЭПОХА) (для четвертичной системы – РАЗДЕЛ)			
КАЙНО- ЗОЙСКАЯ		ЧЕТВЕРТИЧНАЯ (АНТРОПОГЕНОВЫЙ) 1,806 Денгуайе, 1829 г.	Q 1,6	ГОЛОЦЕН ПЛЕЙСТОЦЕН ЭОПЛЕЙСТОЦЕН			
И О З О Р Е Н А Ф	КАЙНО- ЗОЙСКАЯ 65 KZ	НЕОГЕНОВАЯ (НЕОГЕНОВЫЙ) (бывш. верхний отд. третичной системы) 23,03 Хорнс, 1853 г.	N 21,4	ПЛИОЦЕН N <sub>2</sub> Ч.Лейель, 1833 г.			
		ПАЛЕОГЕНОВАЯ (ПАЛЕОГЕНОВЫЙ) (бывш. нижний отд. третичной системы) 65±0,3 К.Науманн, 1866 г.	P 42,0	МИОЦЕН N <sub>1</sub> Ч.Лейель, 1833 г.			
	МЕЗОЗОЙСКАЯ 185 MZ	МЕЛОВАЯ (МЕЛОВОЙ) д'Омалуэ д'Аллау, 1822 г.	K 80,0	ОЛИГОЦЕН P <sub>3</sub> Бейрик, 1854 г.			
		ЮРСКАЯ (ЮРСКИЙ) А. Броньяр, 1829 г.	J 55,0	ЭОЦЕН P <sub>2</sub> Ч.Лейель, 1833 г.			
		ТРИАСОВАЯ (ТРИАСОВЫЙ) Ф.Альберти, 1834 г.	T 50,0	ПАЛЕОЦЕН P <sub>1</sub> Шимпер, 1874 г.			
		ПЕРМСКАЯ (ПЕРМСКИЙ) Р. Мурчисон, 1841 г.	P 50,0	ВЕРХНИЙ K <sub>2</sub> (поздняя)			
		КАМЕННОУГОЛЬНАЯ (КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ) С В. Конибир и В. Филлипс, 1822 г.	ПЕНСИЛЬ- ВАНИЙ МИССИ- ССИППИ	НИЖНИЙ K <sub>1</sub> (ранняя)			
		ДЕВОНСКАЯ (ДЕВОНСКИЙ) А.Седжвик и Р.Мурчисон, 1839 г.	D 56,0	ВЕРХНИЙ (поздняя) J <sub>3</sub> А.Оппел, 1856 г.			
		СИЛУРИЙСКАЯ (СИЛУРИЙСКИЙ) Р. Мурчисон, 1839 г.	S 28,0	СРЕДНИЙ (средняя) J <sub>2</sub> А.Оппел, 1856 г.			
		ОРДОВИКСКАЯ (ОРДОВИКСКИЙ) Ч.Лавпорт, 1879 г.	O 44,0	НИЖНИЙ (ранняя) J <sub>1</sub> Орбиньи, 1850 г.			
	КЕМБРИЙСКАЯ (КЕМБРИЙСКИЙ) А.Седжвик, 1835 г.	Є 54,0	ВЕРХНИЙ (поздняя) T <sub>3</sub>				
	ПАЛЕОЗОЙСКАЯ 292 PZ <sub>3</sub> PZ <sub>2</sub> PZ <sub>1</sub>	ВЕРХНИЙ ПАЛЕОЗОЙ PZ <sub>3</sub>	ПЕРМСКАЯ (ПЕРМСКИЙ) Р. Мурчисон, 1841 г.	P 50,0	СРЕДНИЙ (средняя) T <sub>2</sub>		
		СРЕДНИЙ ПАЛЕОЗОЙ PZ <sub>2</sub>	КАМЕННОУГОЛЬНАЯ (КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ) С В. Конибир и В. Филлипс, 1822 г.	ПЕНСИЛЬ- ВАНИЙ МИССИ- ССИППИ	НИЖНИЙ (ранняя) T <sub>1</sub>		
			ДЕВОНСКАЯ (ДЕВОНСКИЙ) А.Седжвик и Р.Мурчисон, 1839 г.	D 56,0	ВЕРХНИЙ (поздняя) P <sub>2</sub>		
		НИЖНИЙ ПАЛЕОЗОЙ PZ <sub>1</sub>	СИЛУРИЙСКАЯ (СИЛУРИЙСКИЙ) Р. Мурчисон, 1839 г.	S 28,0	НИЖНИЙ (ранняя) P <sub>1</sub>		
			ОРДОВИКСКАЯ (ОРДОВИКСКИЙ) Ч.Лавпорт, 1879 г.	O 44,0	ВЕРХНИЙ (поздняя) C <sub>3</sub>		
			КЕМБРИЙСКАЯ (КЕМБРИЙСКИЙ) А.Седжвик, 1835 г.	Є 54,0	СРЕДНИЙ (средняя) C <sub>2</sub>		
					542±1,0	НИЖНИЙ (ранняя) C <sub>1</sub>	
						ВЕРХНИЙ (поздняя) D <sub>3</sub>	
						СРЕДНИЙ (средняя) D <sub>2</sub>	
						НИЖНИЙ (ранняя) D <sub>1</sub>	
				ВЕРХНИЙ (поздняя) S <sub>2</sub>			
			НИЖНИЙ (ранняя) S <sub>1</sub>				
			ВЕРХНИЙ (поздняя) O <sub>3</sub>				
			СРЕДНИЙ (средняя) O <sub>2</sub>				
			НИЖНИЙ (ранняя) O <sub>1</sub>				
			ВЕРХНИЙ (поздняя) E <sub>3</sub>				
			СРЕДНИЙ (средняя) E <sub>2</sub>				
			НИЖНИЙ (ранняя) E <sub>1</sub>				

Рисунок 1.4.8 – Геохронологическая шкала (упрощенная версия) (48)





Названия системам (периодам) и ярусам (векам) давали чаще всего, в соответствии с географическими названиями территорий распространения этих отложений. Так, название кембрийской системы происходит от лат. Cambria (название Уэльса в составе Римской империи), девонской – от графства Девоншир в Англии, пермской – от города Пермь, юрской – от гор Юра́ во Франции. Примеры географических названий ярусов (веков): датский, башкирский, московский, кампанский, коньякский (провинции Шампань и Коньяк во Франции). В честь древних племён названы ордовикская и силурийская системы (племена кельтов ордóвики и силу́ры). Иногда использовались названия, связанные с преобладающим составом пород: каменноугольная система названа из-за наличия большого количества угольных пластов, а меловая – из-за широкого распространения мела, откладывавшегося в меловой период.

Самые длительные геохронологические подразделения, объединяющие несколько эр, называются эоны. В настоящее время выделяют два эона: криптозойский (или докембрийский) и фанерозойский. Продолжительность более древнего – докембрийского эона составляет около 5/6 всей геологической истории Земли. (рис. 1.4.9).

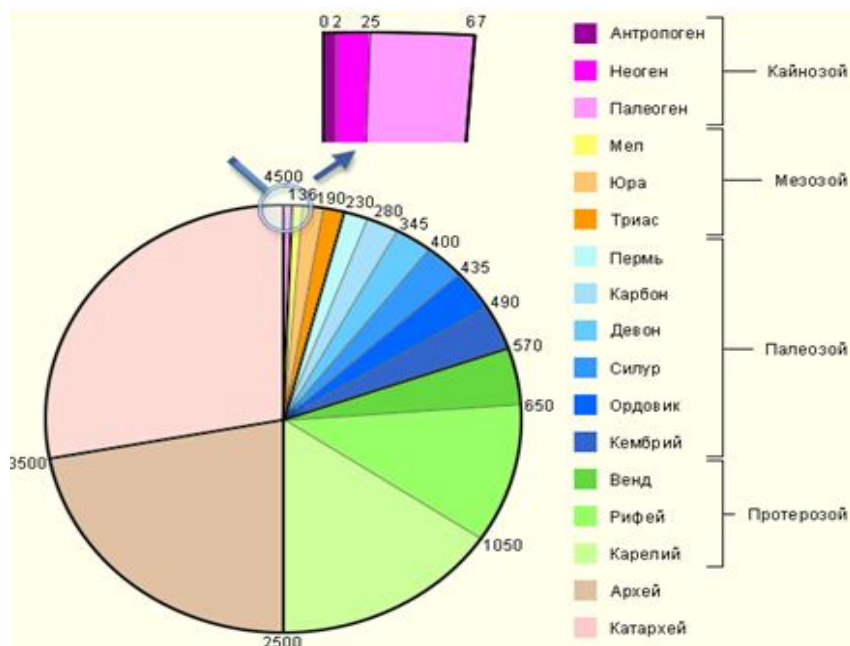


Рисунок 1.4.9 —  
Диаграмма  
продолжительности  
геохронологических  
подразделений  
геологической истории  
Земли (50)

*Криптозойский эон* (время скрытой жизни) объединяет две эры: архейскую и протерозойскую, длившиеся в течение промежутка времени порядка 4 млрд. лет. Время до архея (от ~ 4,6 до 4,0 млрд лет назад) получило название гадей (Hadean). На этом раннем геологическом этапе происходило образование Земли. Начинается дифференциация вещества внутри планеты. Формируются и расплавляются участки базальтовой коры.

*Архейская эра* (AR) – древнейшая эра, охватывает период времени от 4 млрд лет до 2500 млн лет назад. Подразделяется на эо-, палео-, мезо- и нео-архей, каждый длительностью по ~ 400 млн лет. К концу архея, в течение Соамского и Беломорского тектонических циклов произошло формирование настоящей континентальной земной коры. В эоархее на Земле образуется гидросфера в виде мелководных океанов и участки

протоконтинентальной коры в виде островов. Появляются примитивные одноклеточные организмы.

*Протерозойская эра (PR)* – эра первичной жизни (протожизни), подразделяющаяся на три отрезка времени – палеопротерозой, мезопротерозой и неопротерозой. Временные границы протерозоя – 2500 млн лет – 541 млн лет назад. В течение палеопротерозоя (Карельский цикл) происходит поворотный этап: в конце него огромные участки земной коры становятся жесткими и стабильными, образуя настоящие платформы. К концу протерозоя (Байкальский цикл) соединяются все континенты южного полушария в единый материк Гондвану. Закладывается 5 геосинклинальных поясов. Восемьсот млн лет назад образуется Тихий океан. Климат повсеместно теплый, но в неопротерозое происходит глобальное оледенение Земли. Атмосфера постепенно насыщается кислородом до 1 % от современного уровня. Появляются первые многоклеточные организмы.

*Фанерозойский эон<sup>2</sup>* (время явной жизни) – включает три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую. Отложения, сформировавшиеся в это время, характеризуются многочисленными достоверными остатками органического происхождения. Начало эона ~ 541 млн лет назад.

*Палеозойская эра (PZ)* – эра древней жизни, в составе которой выделяются шесть периодов: кембрийский (Є), ордовикский (О), силурийский (S), девонский (D), каменноугольный (карбоновый) (C) и пермский (P). Временной интервал – 541,0 – 252,17 млн лет назад.

В течение кембрия, ордовика и силура (Каледонский тектонический цикл) на Земле существовало 6 древних платформ. Происходит крупнейшая трансгрессия (повышение уровня моря) с максимумом в ордовике. Гондвана остается сушей. В начале силура происходит оледенение. В конце образовался суперконтинент Эрия. В кембрийском периоде быстро появляется много новых групп организмов (т.н. «кембрийский взрыв жизни»). Во время ордовика океаны заселяются головоногими моллюсками. В силуре появляются первые рыбы и жизнь выходит на сушу: скорпионы и позже первые растения. Во время девонского, карбонового и пермского периодов (Герцинский цикл) возникает новый континент Ангарида, который вместе с Эрией соединяется в Лавразию. Лавразия затем сливается с Гондваной, образуя единый континент Пангею, но вскоре – в конце пермского периода начинается его раскол. В девонском периоде происходит появление земноводных и споровых растений; в каменно-угольном периоде – появление деревьев и пресмыкающихся; а в конце пермского периода – первое великое вымирание организмов, когда исчезло около 95 % всех существовавших видов.

*Мезозойская эра (MZ)* – эра средней жизни, подразделяется на три периода: триасовый (Т), юрский (J) и меловой (K). Временной интервал – 252,17 – 66,0 млн лет назад.

В течение мезозоя происходит Тихоокеанский тектонический цикл. На Земле существует 1 континент, 2 океана и 3 геосинклинальных пояса. На Земле преобладает суша. Климат жаркий. В триасовом периоде появляются первые динозавры и примитивные яйцекладущие млекопитающие. Во время юрского периода происходит

<sup>2</sup> © Для запоминания двенадцати периодов фанерозоя студенты-геологи придумали нескольких шуточных стихов, восстанавливая их названия по первым буквам слов стиха: “Когда одна стипендия, дуй квас пенистый, только юмора мало, пытайся найти аналог”.



расцвет динозавров, появление сумчатых млекопитающих и первых птиц; в меловом периоде – вымирание большей части динозавров; возникают первые плацентарные млекопитающие.

*Кайнозойская эра (KZ)* – эра новой жизни, в составе которой выделяются три периода: палеогеновый (P), неогеновый (N), четвертичный (антропогенный) (Q). Началась эра 66,0 млн лет назад и продолжается до настоящего времени. Кайнозой соответствует.

*Альпийский тектонический цикл.* На Земле существует всего два геосинклинальных пояса. Исчезает океан Тетис. С конца неогена начинается покровное оледенение в Антарктиде. Площадь континентов в неогене – больше современной, все шельфовые зоны были частью континентов. В палеогеновом периоде, в эоцене появляются первые современные млекопитающие, а олигоцене – первые человекообразные обезьяны.

В плейстоценовую эпоху четвертичного периода – появление современного человека; происходят периодические оледенения и отступления материковых льдов. В голоценовую (современную) эпоху наблюдается вымирание многих крупных млекопитающих (мамонтов и др.).

В зависимости от генетического типа отложенных пород перед обозначением их возраста добавляется буквенный индекс, например, аллювиальные (речные) отложения – а, гляциальные (ледниковые) отложения – г и т.д.

### Генетические типы четвертичных отложений

Четвертичные отложения залегают непосредственно на поверхности земли, перекрывают более древние и мощные дочетвертичные отложения и поэтому наиболее часто используются в качестве оснований различных зданий и сооружений. Четвертичные отложения в основном имеют континентальное происхождение и, по условиям образования подразделяются на различные генетические типы, обладающие разнообразным составом, формами залегания и физико-механическими свойствами.

Четвертичные отложения имеют относительно небольшую мощность (метры, десятки метров), которая может быстро изменяться в плане и разрезе вплоть до выклинивания. На поверхности земли они часто образуют определённые формы рельефа: равнины, речные террасы, склоны, конусы выноса, оползневые ступени, барханы и дюны и т. д.

Обозначения генетических типов отложений четвертичной системы приведены в таблице 1.4.2

Таблица 1.4.2 – Условные обозначения генетических типов четвертичных отложений

Индекс		Наименование и характерные особенности отложений
старый	новый	
1	2	3
glQ	gQ	Гляциальные (ледниковые). Песчано-глинистые отложения, сформировавшиеся при таянии ледников
fglQ	fgQ	Флювиогляциальные (водно-ледниковые). Отложения водных потоков; размер обломков от валунов до глинистых частиц

1	2	3
lQ	lQ	Лимнические (озерные). Для влажного климата характерны терригенные (от глин до галечников) и органогенные осадки, для засушливого климата – хемогенные осадки
alQ	aQ	Аллювиальные (речные) – это отложения всех русловых водных потоков, включая и временные. Среди аллювиальных выделяются русловые, пойменные и отложения стариц. Русловые – представлены сортированными гравийно-песчаными косослоистыми отложениями (на равнине) или галечниками (в горах); пойменные – маломощным покровом супесей и суглинков с линзами песка; старичные состоят из пылевато-глинистых отложений, часто с прослоями ила и торфа
elQ	eQ	Элювиальные. (Элювий – это продукты выветривания, которые не уносятся водой, а сохраняются на месте образования). Состав элювия изменяется по глубине: у поверхности залегают глины с дресвой или щебнем, в нижней части элювий представлен щебнем и глыбами
colQ	cQ	Коллювиальные (отложения осыпей) – обломочный материал, накопившийся на склонах или у подножий гор при его перемещении под влиянием силы тяжести
dpQ	grQ	Гравитационные (оползневые, деляпсивные отложения) образуются при сползании больших масс глинистых пород вниз по склону
solQ	sQ	Солифлюкционные. Эти отложения образуются при медленном вязкопластическом течении грунтов. Состав их разнообразен: от глин и суглинков до щебней и глыбовых скоплений. Солифлюкция характерна для областей вечной мерзлоты, а также влажного тропического климата
dlQ	dQ	Делювиальные отложения образуются в результате накопления на склоне песчано-глинистого материала, приносимого сверху дождевыми и талыми водами. На пологих склонах преобладают супесчано-суглинистые отложения, на крутых горных склонах стран – супесчано-щебнистые отложения (горный делювий)
lQ	LQ	Лёсс и лёссовидные отложения различного генезиса: эоловые отложения, аллювий, делювий, элювий. Состав: преимущественно пылеватые частицы, значительно меньше глинистых и песчаных частиц
plQ	pQ	Проллювиальные (конусы выноса). Образуются при отложении в предгорьях материала, приносимого с гор мелкими реками и временными водотоками. В верховьях конусов выноса откладываются крупные обломки – галечник, гравий, а в средней и нижней части – песчаный и глинистый материал
hQ	hQ	Болотные минеральные и органические осадки, накапливающиеся в болотах. Среди них преобладает торф, преобразующийся со временем в ископаемые угли
eo1Q	vQ	Эоловые (ветровые) отложения образуются при накоплении материала, переносимого ветром. Состав: эоловые пески, лёсс, вулканический пепел. На поверхности земли могут образовываться барханы и дюны

1	2	3
eo1Q	mQ	Морские отложения на дне современных и древних морей и океанов. Чаще всего это глинистые илы, известково- или кремнисто-глинистые илы, вулканические илы
	βQ	Вулканические отложения: лава, пепел, пемза и другие продукты извержений вулканов
	πQ	Грязевулканические: продукты извержений грязевых вулканов – глинистые, реже песчаные отложения
	tQ	Техногенные (антропогенные): различные искусственные, насыпные, намывные отложения и культурный слой. По способу образования и составу выделяют: строительные, горнопромышленные, промышленные, хозяйственно-бытовые отложения. Состав: отходы производства, шлаки, золы, строительный и бытовой мусор, перемешанные пески и глинистые породы
prQ	prQ	Покровные (проблематичные отложения). По поводу их происхождения у специалистов имеются различные точки зрения
	RQ	Дочетвертичные отложения
<i>Отложения смешанного генезиса. Образуются при одновременном действии нескольких геологических факторов. Примеры: озерно-аллювиальные – laQ, делювиально-пролювиальные – dpQ отложения.</i>		

В инженерно-геологической документации геологические индексы четвертичных отложений нередко записывают в следующем сокращенном виде. Например, вместо  $aQ_4$  записывают  $aIV$ , и то, и другое обозначает аллювиальные голоценовые отложения;  $dQ_2$  –  $dII$  – делювиальные среднелейстоценовые (среднечетвертичные) отложения и т.д.

## Раздел 2. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

*Эндогенными процессами* (от греч. endon – внутри и genes – рождение) называется геологические процессы, которые происходят в основном за счет внутренней энергии Земли. Кроме того, на эти вопросы влияет сила тяжести, а также центробежные силы, возникающие при вращении Земли. Согласно современным представлениям, эндогенные процессы происходят при дифференциации вещества внутри планеты под воздействием гравитации. Компоненты с повышенным удельным весом стремятся к центру Земли, в то время как более легкие поднимаются вверх и концентрируются у поверхности. При формировании планеты в результате этого процесса в ее центре образовалось плотное металлическое ядро. Другим источником для энергии для перемещений вещества является энергия распада радиоактивных элементов. На ее долю приходится ~ 12 % энергии, идущей на тектонические процессы, в то время как на долю гравитационной дифференциации – 82 %. Непрерывная генерация тепла в недрах Земли ведет к образованию конвективных потоков к ее поверхности. Разность температур в очень горячем ядре Земли и температуры на земной поверхности может достигать ~ 5–6 тыс градусов Цельсия. Нагретые в центральных зонах земли породы расширяются, плотность их уменьшается, и они «всплывают», уступая место опускающимся более холодным и, соответственно, более тяжелым массам, отдавшим часть тепла земной коре. Этот процесс тепло- и массообмена вследствие движения легких горячих масс вверх и движения тяжелых более холодных масс вниз, идет непрерывно и имеет вид очень медленных конвективных потоков. При определенном сочетании вещественного состава, температуры и давления в недрах могут возникать очаги и слои частичного плавления. Таким слоем в верхней мантии является астеносфера – основной источник образования магмы. В ней происходят конвекционные движения магмы, которые служат причиной вертикальных и горизонтальных напряжений и движений в литосфере.

Эндогенные процессы коренным образом определяют характер земной коры; они приводят к созданию основных форм мегарельефа поверхности Земли – платформенных областей, горных стран и возвышенностей, огромных впадин, вмещающих океаны и моря и др. Основными видами проявлений эндогенных процессов на Земле, являются: тектонические движения земной коры, магматические, вулканические и метаморфические процессы, а также сейсмическая активность.

### 2.1. Тектоника

**Тектонические движения земной коры. Слоистость и складчатость. Пликативные и дизъюнктивные нарушения и их влияние на строительство**

*Тектоническими* (от греч. tektonike – строительное искусство, созидание) называются процессы, под воздействием которых происходят вертикальные и горизонтальные движения земной коры, в результате чего формируются глобальные тектонические структуры – горно-складчатые области, прогибы, впадины, глубинные разломы и т.д. Движения вызывают тектонические нарушения – изменения первичного залегания горных пород. Особенно отчетливо эти изменения наблюдаются на примере



осадочных пород, которые откладываются в виде горизонтально залегающих пластов, а вследствие тектонических нарушений эти пласты оказываются смятыми в складки или разорванными на отдельные блоки. Тектонические движения, в итоге создают наблюдаемую структуру земной коры, т.е. они являются созидательными движениями.

Современные формы и очертания материков и океанов образовались в результате движений плит литосферы в течение многих сотен миллионов лет. Существует три основных типа относительных перемещений плит:

- расхождение (дивергенция), в виде рифтинга и спрединга;
- схождение (конвергенция) выраженное коллизией и субдукцией;
- сдвиги по трансформным разломам (рис. 2.1.1).

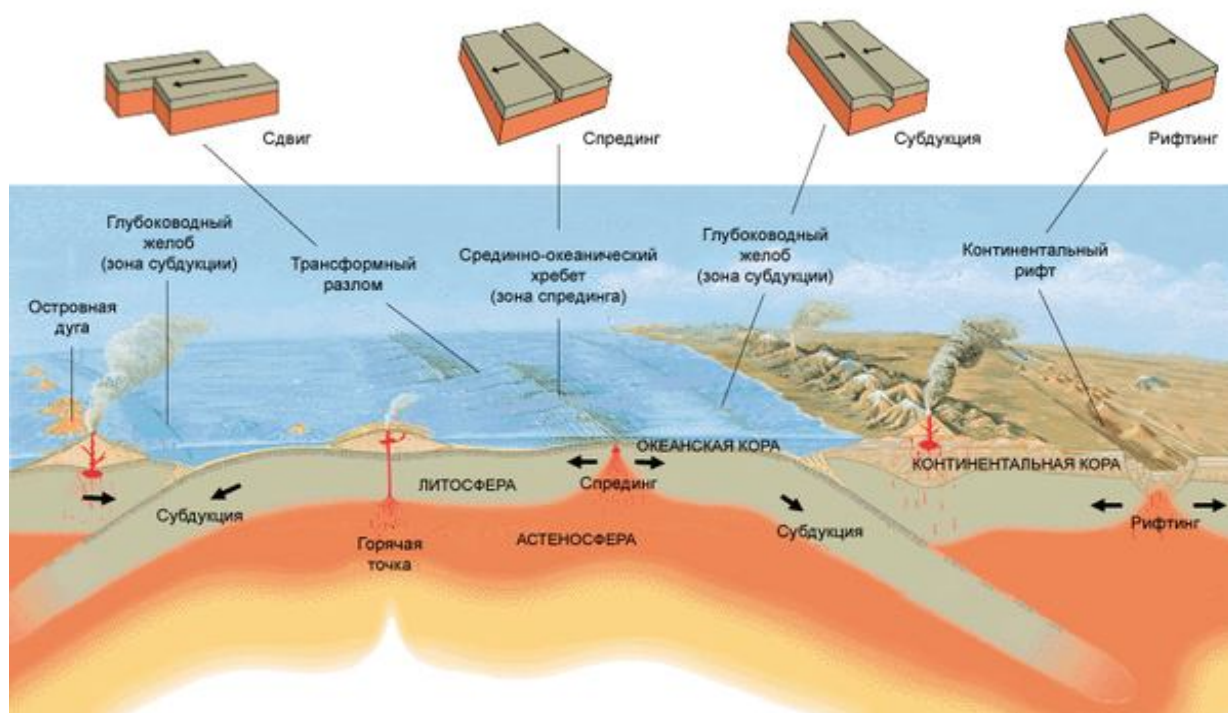


Рисунок 2.1.1 – Схема основных видов движения литосферных плит (51)

*Рифтинг* – разрыв и раздвижение блоков земной коры происходит в континентальных и океанических зонах рифтов. Рифт (от англ. gift – расселина, ущелье) – это линейно вытянутая на несколько сотен километров (нередко свыше 1000 км) щелевидная структура глубинного происхождения. Ширина большинства континентальных и океанических рифтов 30–70 км, однако известны и более узкие рифты, например, (5–20 км, район Мертвого моря) и более широкие (200–400 км, Красное море).

В настоящее время наиболее активной на континентах планеты является система Восточно-Африканских рифтов (рис. 2.1.2), где происходит утончение и разрывы континентальной коры, а в некоторых местах (Афар, вблизи Аденского пролива) уже формируется океаническая кора. Развитие этой системы, очень вероятно приведет к образованию нового океана. Рифты такого типа образуются в результате поднятия к поверхности больших куполообразных масс горячего вещества мантии – плюмов, приподнимающих и растягивающих кору. Для активных рифтов характерен интенсивный вулканизм (рис. 2.1.3).

Примером пассивного рифта со сложным строением является Байкальская рифтовая система. Сейчас в этом районе отсутствует вулканизм, но происходят только активные тектонические движения и землетрясения. Однако относительно недавно в соседних более мелких рифтах активно действовали вулканы, а в Монголии вулканизм в четвертичном периоде был развит очень широко.

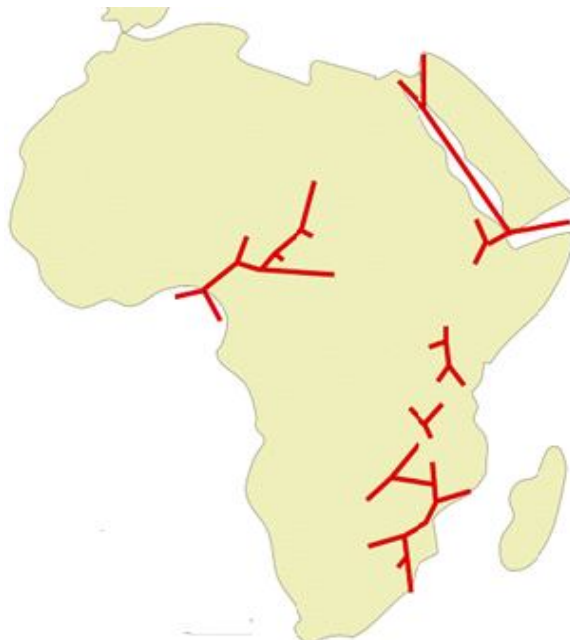


Рисунок 2.1.2 – Рифты восточной Африки (52)



Рисунок 2.1.3 – Вулканический ландшафт в рифтовой зоне, Эфиопия (53)

Самое глубокое на Земле озеро Байкал (1642 м) (рис. 2.1.4) образовалось в результате сдвига по огромному разлому, пересекающему Евразию с юго-запада на



северо-восток, а Байкальская впадина сформировалась из-за меньшего разлома, прошедшего под углом к основному.

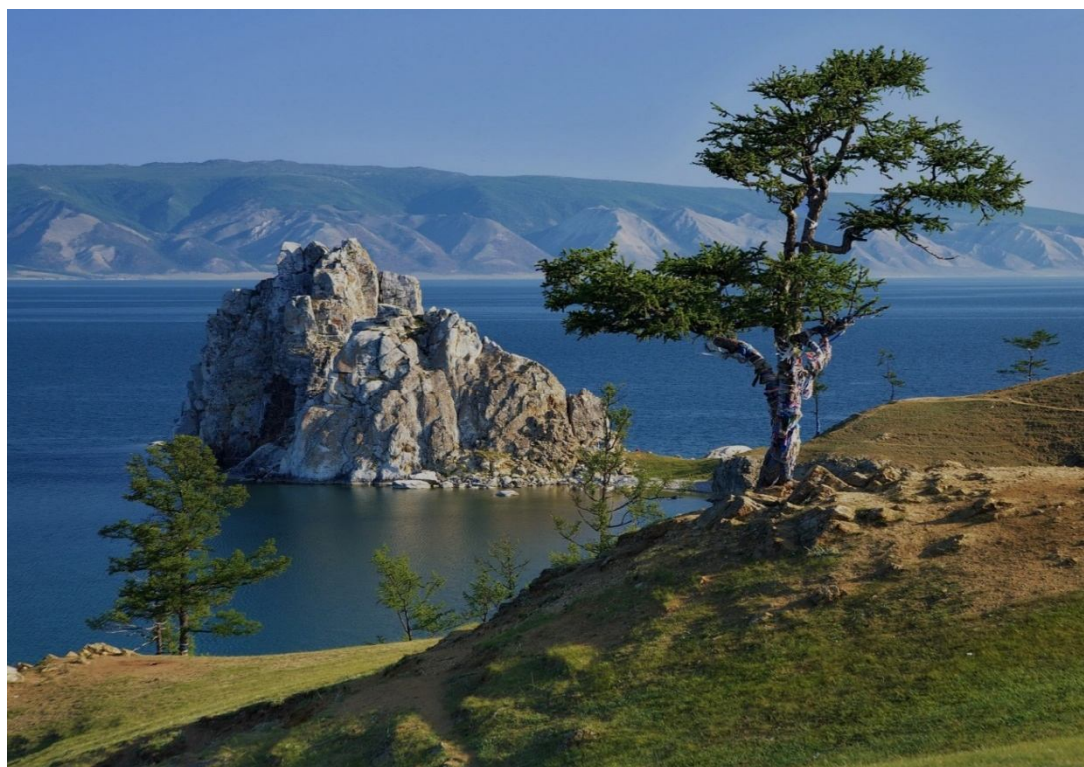


Рисунок 2.1.4 – Озеро Байкал. Содержит 19 % мировых (!) запасов пресной воды (54)

Согласно легендам, у батюшки Байкала было 336 сыновей-рек и одна единственная дочь – река Ангара, все они втекали в озеро и пополняли его воды. Но вот его дочь полюбила реку Енисей, решила сбежать к нему и потекла к своему любимому. Байкал, узнав об этом, попытался преградить ей путь, кинув к истоку Ангары огромный камень, но Ангара побежала дальше. Тогда Байкал послал за ней в погоню своего племянника – Иркут, но тот пожалел Ангари и свернул с пути. Беглянка встретила с Енисеем и потекла дальше вместе с ним. Сейчас Ангара – единственная река, вытекающая из озера Байкал, а скала, называемая Шаман-камень, находится у истока Ангары и считается её началом.

*Спрединг* (от англ. spread – растягивать, расширять) – геодинамический процесс, выражающийся в импульсном многократном раздвигании блоков океанической коры и заполнении высвобождающегося пространства магмой. Процессы спрединга наблюдаются, главным образом, в пределах срединно-океанических хребтов и формируют океаническую кору, поэтому в этих районах она значительно моложе, чем на краях океанов. Увеличение площади земной коры при спрединге в середине океанов компенсируется ее уменьшением при субдукции по периферии океанов и коллизии континентов.

*Коллизия* (от лат. collisio – столкновение) континентов – это столкновение континентальных литосферных плит, в результате которого происходит смятие земной коры и образование горно-складчатых областей с очень сложным внутренним строением. Примером коллизии может служить Альпийский горный пояс, образовавшийся при

«закрытии» древнего океана Тетис в результате движения Африканской плиты в сторону Евразийской.

*Океан Тетис* начал сокращаться с мезозойской эры и к настоящему времени прекратил свое существование с образованием остаточных бассейнов – Средиземного, Черного, Азовского и Каспийского морей. Индостанская плита в свое время отделилась от Африки и переместившись на северо-восток, также «столкнулась» с Евразией, образовав самые высокие на планете горы Гималаи (рис. 2.1.5). Континентальная коллизия является очень длительным процессом. Например, в областях сочленения Евразийской и Индостанской плит она началась ~ 55 млн. лет назад в эоцене и продолжается в настоящее время.



Рисунок 2.1.5 – Гималаи – самые высокие горы на Земле. Вид с Эвереста (55)

*Субдукция* – это погружение одних блоков земной коры под другие. Чаще всего она происходит в линейно протяжённых зонах, вдоль которых океаническая кора пододвигается под континентальную плиту или островную дугу и погружается в мантию (рис. 2.1.6). Результатом взаимодействия литосферных плит в зонах субдукции являются активный вулканизм и сейсмичность. Средняя скорость движения океанических плит составляет от 2 до 8 см/год. Объем поглощаемой в зонах субдукции океанской коры примерно равен объему коры, нарождающейся в зонах *спрединга*. В то же время, в зонах субдукции происходит постоянное наращивание мощности континентальной коры за счет *аккреции*, т. е. «сдирания» (по принципу бульдозера) и интенсивного смятия верхних слоев с погружающейся плиты. Примером может служить зона субдукции у западного побережья Южной Америки, где с одной стороны на континенте образовались Анды (высота до 7 км), а с другой – в океане – глубоководные впадины (глубина 7 км и более).

На стыке Тихоокеанской и Южноамериканской литосферных плит существует постоянное напряжение, являющееся источником землетрясений и извержений вулканов.



Другими примерами таких зон являются Япония, Курильские и Алеутские о-ва, Камчатка, о-ва Суматра, Ява, Новая Зеландия и др. Масштабное поглощение океанической коры по периферии Тихого океана (Тихоокеанское огненное кольцо) может свидетельствовать о процессе сокращения (закрытия) этого древнейшего из существующих океанов планеты.

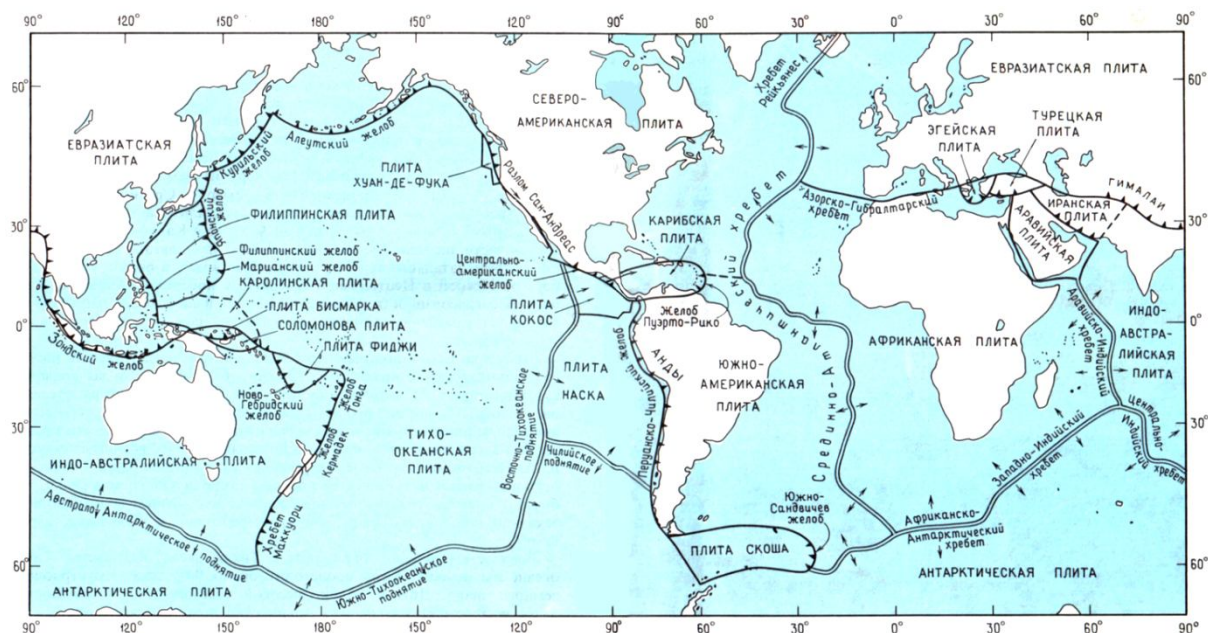


Рисунок 2.1.6 – Карта направлений движений литосферных плит (56)

*Трансформный разлом* – это вид разлома, который располагается у границы литосферной плиты. Трансформные разломы являются одним из трёх типов границ плит. Относительное движение блоков земной коры является преимущественно горизонтальным и направленным вдоль разлома, то есть кора в месте разлома не утолщается и не погружается в мантию (в отличие от зон коллизии и спрединга). Большинство трансформных разломов расположены на океаническом дне, где из-за активности зон срединно-океанических хребтов формируются границы плит в виде зигзагов (см. рис. 1.1.7). Разломы возникают между блоками, которые двигаются параллельно с разной скоростью. Они ориентированы практически перпендикулярно срединно-океаническим хребтам, и кора разбивается на сегменты шириной в среднем 400 км.

Классическим примером трансформного разлома является разлом Сан-Андреас в Калифорнии (рис. 2.1.7), отделяющий Североамериканскую плиту от Тихоокеанской. Разлом Сан-Андреас длиной 1300 км – один из самых сейсмоактивных районов планеты: плиты смещаются относительно друг друга на 0,6 см в год, землетрясения с магнитудой более 6 баллов происходят в среднем раз в 22 года. Этот разлом представляет очень серьезную сейсмическую угрозу западному побережью США, в том числе городам Лос-Анджелес и Сан-Франциско.

*Неотектонические движения.* Это современные тектонические движения, происходившие в историческое время, некоторые из которых были измерены инструментально. Они бывают вертикальными и горизонтальными. Современные вертикальные движения широко распространены. Примерами современных

положительных (вверх) движений земной коры могут быть районы северной Швеции, Финляндии и Норвегии, Кольский п-ов (со скоростью поднятий до 25 мм/год), Главный Кавказский хребет (со скоростью 10-12 мм/год). Поднимаются территории Донбасса (10,3 мм/год), городов Харьков (3,9 мм/год), Вильнюс (3,8 мм/год). Поднятия в складчатом поясе Памира и Тянь-Шаня местами достигают 50 мм за год.



Рисунок 2.1.7 – Разлом Сан-Андреас, Калифорния, США. Вид из космоса (57)

Современное отрицательное движение поверхности земли происходит на большой части Голландии (опускание со скоростью до 40–60 мм/год; в настоящее время треть территории (!) страны находится ниже уровня моря). Понижаются значительные территории Западносибирской и Прикаспийской низменностей, северный Крым, п-ов Камчатка, о. Сахалин, г. Санкт-Петербург (3,6 мм/год).

Вертикальные положительные и отрицательные движения могут чередоваться. Так, начиная с IV века до н. э., территория, на которой находятся развалины крепости г. Херсонеса (Крым) четыре раза затоплялась морем, а затем поднималась выше уровня моря. Цикл трансгрессии/регрессии составлял 500-600 лет.

Современные тектонические движения необходимо обязательно учитывать при строительстве на берегах морей, при создании гидротехнических и других ответственных сооружений.

*Слоистость и складчатость.* Складчатые и разрывные дислокации слоев горных пород.

Осадочные горные породы образуются из осадков, которые накапливаются на дне океанов, морей, озёр, в речных долинах, межгорных депрессиях и других понижениях рельефа и, как правило, первоначально обладают горизонтальным залеганием в виде слоев.

*Слой* – это относительно плоское геологическое тело однородное по составу и строению, ограниченное практически параллельными поверхностями: верхняя граница слоя называется кровлей, нижняя – подошвой. Термин «пласт», имеющий аналогичное значение обычно применяется для полезных ископаемых, например: угля, соли, известняка и др.

Форма слоистости отражает характер среды, в которой происходит накопление осадка. Выделяют четыре основных типа слоистости: горизонтальную (параллельную или прямую), косую, волнистую, линзовидную (рис. 2.1.8).

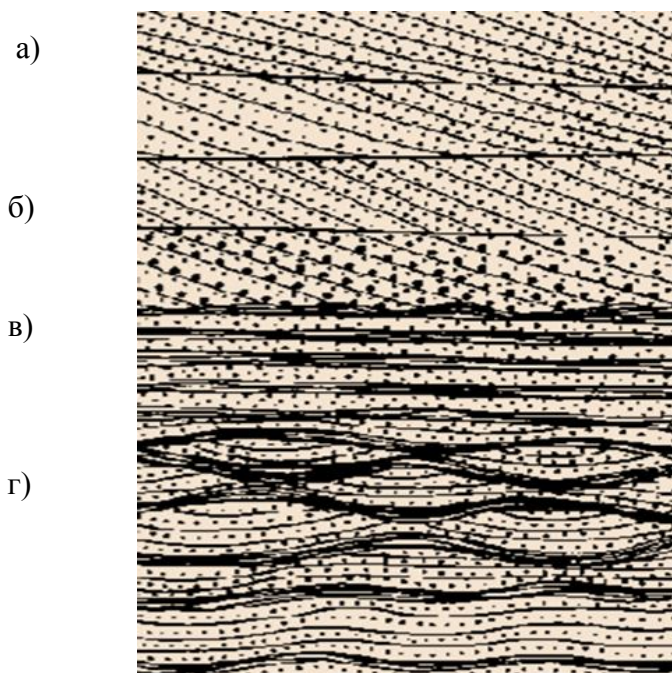


Рисунок 2.1.8 – Виды слоистости (58): а – косая; б – горизонтальная; в – линзовидная, г – волнистая

*Косая слоистость* образуется при движении водных или воздушных потоков в одном направлении, например, река, морское течение или постоянные ветры. В аллювиальных отложениях косая слоистость имеет общий наклон в сторону движения воды; в морских отложениях она более крупного размера и с небольшим наклоном. На мелководьях образуется очень тонкая, переплетающаяся косая слоистость в различных направлениях.

*Горизонтальная слоистость*, когда поверхности наслоения параллельны, свидетельствует об относительной неподвижной среде в которой накапливался осадок. Такие условия возникают в озёрах или глубоких морских бассейнах ниже уровня действия волн и течений.

*Линзовидная слоистость* образуется при быстром и изменчивом движении водной или воздушной среды, например, в зоне прибоя моря или в долинах быстрых горных рек. Она характеризуется разнообразием и изменчивостью состава, мощности отдельных прослоев, линз и их форм.

*Волнистая слоистость* формируется при движениях, имеющих периодическую смену в противоположных направлениях - при отливах и приливах, прибрежных волнениях в мелководных зонах различных водоемов.

Первичное залегание большей части осадочных пород – практически горизонтальное с углом наклона не более  $1^\circ$ . Залегание с более крутыми углами  $3\text{--}10^\circ$  может возникнуть на склонах наземных и подводных возвышенностей, каньонов и др.



Первичное залегание пород сохраняется относительно редко и нарушается последующими тектоническими движениями, что приводит к изменению углов наклона слоев, образованию складчатых и разрывных дислокаций (нарушений).

*Пликативными дислокациями* (от лат. *plico* – складываю и позднелат. *dislocatio* – смещение, перемещение) называют нарушенное залегание и пластические деформации слоёв горных пород без их видимых разрывов. К ним относится залегание в виде моноклиналей, флексур и складок. Причиной пликативных нарушений чаще всего являются эндогенные процессы, связанные с деятельностью глубинных сил Земли (тектонические, магматические, различные проявления гравитационных сил и др.). Встречаются пликативные нарушения, связанные и с экзогенными процессами, например, с оползнями, движениями больших массивов льдов (гляциодислокация). Однако основное значение имеют тектонические процессы: особенно проявления горизонтального сжатия, возникающие при коллизии литосферных плит.

*Моноклиналиное залегание* образуется, когда горизонтально залегающие слои пород в результате тектонических движений приобрели наклон под одним углом на значительной территории. Моноклинали – это наиболее простая форма пликативных дислокаций (рис. 2.1.9, а). Она широко представлена в осадочных покровах молодых и древних платформ. Существуют слабонаклонные (до  $15^\circ$ ), пологие ( $16\text{--}30^\circ$ ), крутые ( $31\text{--}79^\circ$ ) и вертикальные ( $80\text{--}90^\circ$ ) моноклинали.

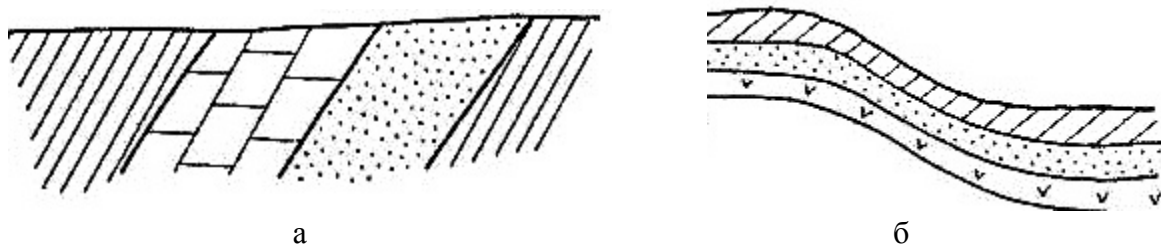


Рисунок 2.1.9 – Простейшие пликативные нарушения (59):

а – моноклинали; б – флексура

*Флексурами* называются уступообразные нарушения горизонтально или наклонно залегающих пластов (рис. 2.1.9, б). Флексуры обычно возникают при тектонических блоковых смещениях нижележащих пород. При смещениях небольшой амплитуды разрывов не происходит, но мощность пород в зоне сдвига часто бывает уменьшенной. У флексур различают нижнее, соединительное и верхнее крылья. Соединительное крыло представляет собой участок, на котором пласты имеют крутой наклон и сокращенную мощность.

*Складчатые деформации* или *складки* – это волнообразные изгибы пластов без разрыва сплошности горных пород. Этот тип дислокаций встречается наиболее широко. Например, горная система Большого Кавказа характеризуется полной складчатостью, т.е. всё видимое пространство заполнено складками, непрерывно переходящими друг в друга. Такая складчатость образуется в случае, когда действуют очень активные тектонические процессы.



В зависимости от размера в профильном сечении выделяются: мега-складки – размер складки (длина половины волны) 1000 м и более; макро-складки – 50–1000 м (рис. 2.1.10); мезо–складки – 0,1–50 м; микро-складки (малые и мелкие) – <0,1 м.



Рисунок 2.1.10 – Макро-складки в долине Занскар, Тибет (60)

Две основные формы складок – это антиклинали и синклинали (рис. 2.1.11).

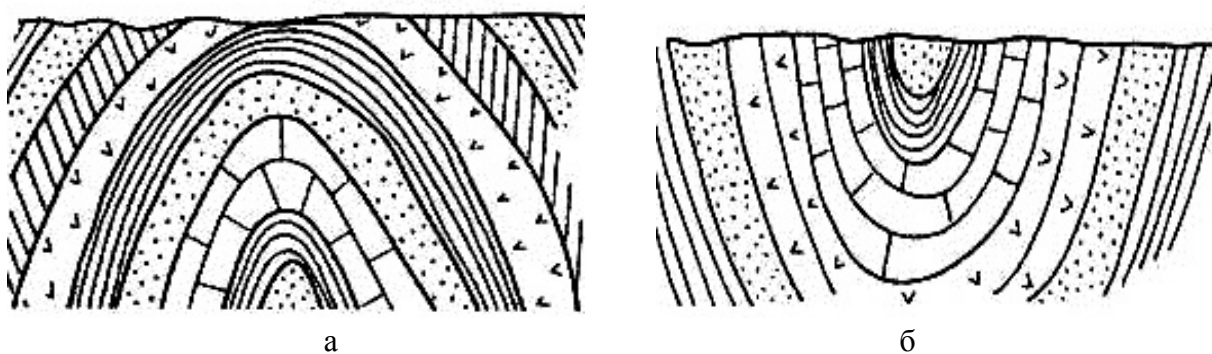


Рисунок 2.1.11 – Простейшие формы складок (61):  
а – антиклиналь; б – синклиналь

Складки, пласты которых выгнуты кверху, в виде арки называются антиклиналями. У этих складок в середине (ядре) на дневной поверхности могут обнажаться более древние породы, а на крыльях – более молодые. Складки, пласты которых прогнуты книзу, называются синклиналями. У них в середине располагаются более молодые породы, а на крыльях – более древние (рис. 2.1.10). В зависимости от положения складок в пространстве выделяют следующие их разновидности (рис. 2.1.12, 2.1.13).

*Дизъюнктивные (разрывные) дислокации* (от лат. disjunctivus –разделительный) – это разрывы сплошности геологических тел. Разрывные дислокации образуются в результате интенсивных тектонических движений, сопровождаются разрывом горных пород и нередко смещением слоев относительно друг друга. Дизъюнктивные структуры распространены значительно шире, чем складчатые.

*Трещины* – наиболее мелкие разрывы без смещения наблюдаются во многих горных породах, за исключением слабо уплотненных и сыпучих. Разрывы со смещениями развиты несколько реже и сконцентрированы главным образом там, где происходит интенсивное горообразование и другие тектонические процессы. Амплитуда смещений может колебаться в очень широких пределах: от нескольких сантиметров до километров при ширине разломов до нескольких метров. К основным видам разрывных дислокаций относятся сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги, грабены, горсты (рис. 2.1.14, 2.1.15).

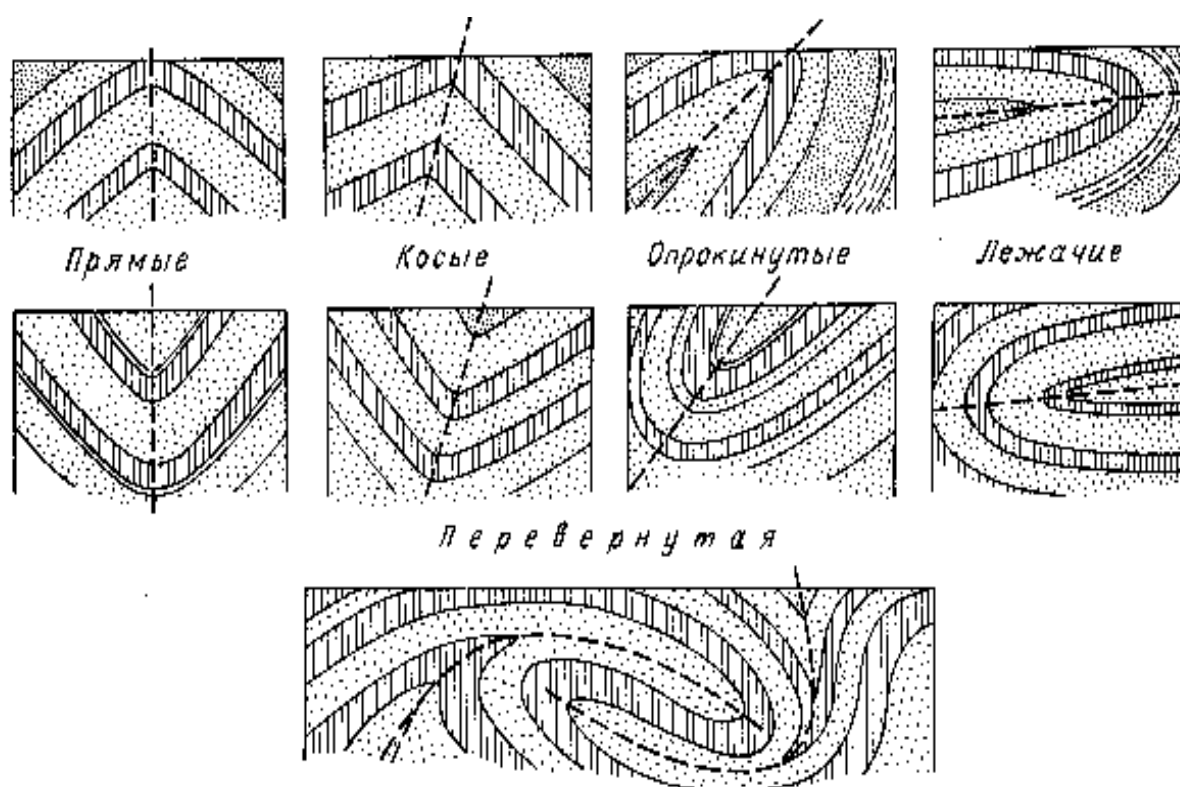


Рисунок 2.1.12 – Разновидности складок (пунктиром показана осевая поверхность) (62)

*Прямые складки* – осевая поверхность вертикальна, а крылья падают в разные стороны под одинаковыми углами; *наклонные (косые) складки* – осевая поверхность наклонена к горизонту, а крылья падают в разные стороны под разными углами; *опрокинутые складки* – осевая поверхность круто наклонена, а крылья наклонены в одну сторону под разными углами. В этих складках различают нормальное и опрокинутое крылья; *лежащие складки* – осевая поверхность параллельна горизонтальной поверхности. Крылья наклонены в одну сторону под одним углом. *Перевернутые (ныряющие) складки* – осевая поверхность изгибается ниже горизонтальной поверхности.



Рисунок 2.1.13 – Прямая синклиналиальная мезо-складка, Калифорния, США (63)

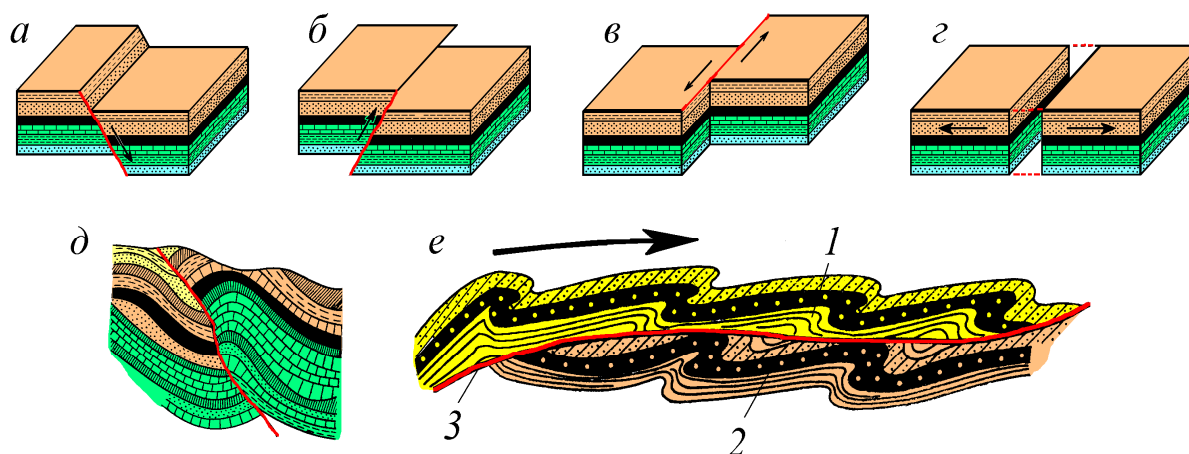


Рисунок 2.1.14 – Разрывные дислокации (стрелками показано направление смещения, красной линией – поверхность разрыва, называемая сместитель) (64): а – сброс; б – взброс; в, г – сдвиги; д – надвиг; е – шарьяж

*Сброс* – разрывное нарушение, при котором подвижная часть земной коры опустилась вниз по отношению к неподвижной; *взброс* – разрывное нарушение, когда подвижная часть земной коры поднялась в результате тектонического движения по отношению к неподвижной; угол наклона сместителя от  $45^\circ$  до  $90^\circ$ ; *сдвиги* – разрывные нарушения при горизонтальном параллельном смещении и раздвижении блоков; *надвиг* – смещение, в виде надвигания одной массы пород на другую по разлому с углом наклона меньше  $45^\circ$ , причем пласты, лежащие с верхней стороны разлома сдвинуты вверх, а с нижней – вниз; *шарьяж* (франц. *charriage*, от *charrier* – везти, нести, гнать) или альпинотипный надвиг – очень пологий надвиг крупных масштабов с напозанием верхнего массива горных пород толщиной в сотни метров (1) на нижележащий массив (2),



при почти горизонтальном сместителе (3) и величине смещения пород на несколько километров.

Нередко встречаются дизъюнктивные нарушения с двумя или несколькими поверхностями разрыва, например, сложные сбросы, взбросы, горсты и грабены (рис. 2.1.15). Горст (от нем. Horst – гнездо) – дислокация в виде резко поднятого над окружающей местностью участка земной коры по вертикальным или крутопадающим тектоническим разломам (сбросам и взбросам). Высота горстов может составлять до нескольких сотен метров и даже километров, длина – десятки сотен километров при ширине в десятки километров. Примерами горстов являются Алтай, горы Шварцвальд, Сьерра-Невада, Гарц, Рорайма (рис. 2.1.16). Грабен (от нем. Graben – ров, канава) – участок земной коры, смещенный вниз относительно окружающей местности по крутым или вертикальным тектоническим разломам. Длина грабенов достигает сотен километров при ширине в десятки и сотни километров. Грабены обычно образуются в зонах растяжения земной коры – рифтах (рис. 2.1.17). В крупнейшей системе грабенов в Восточной Африке расположены большие и очень глубокие озёра Виктория, Ньяса, Танганьика.

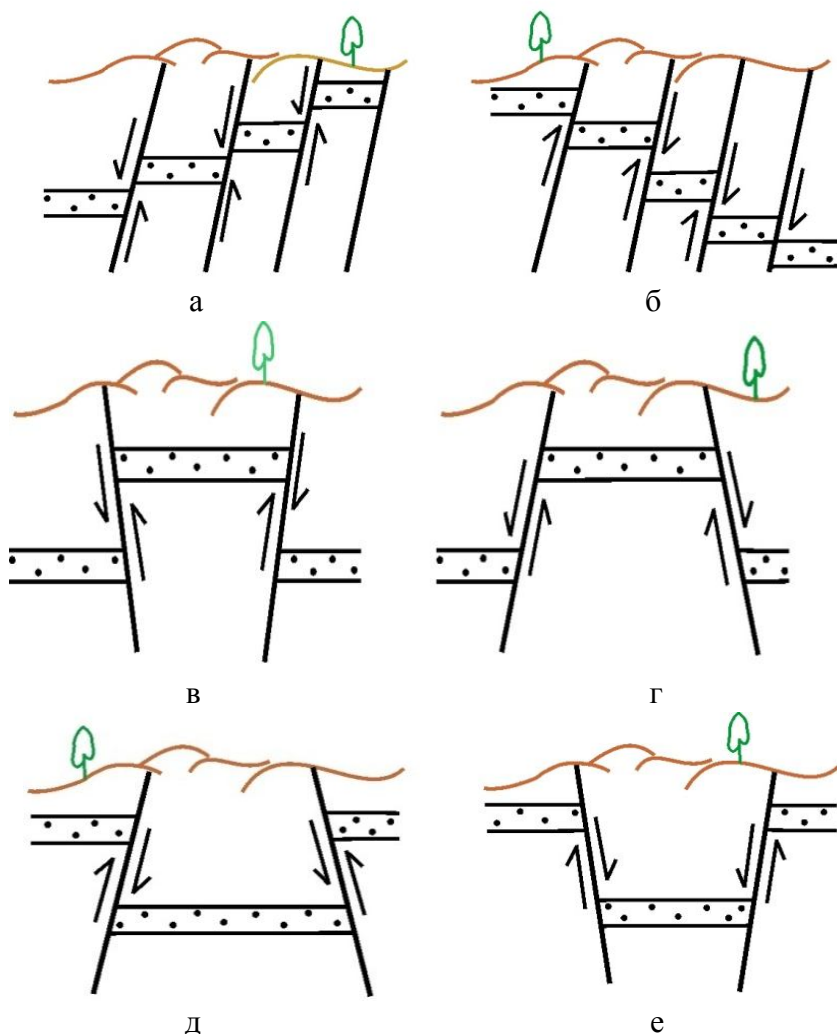


Рисунок 2.1.15 – Дизъюнктивные нарушения с несколькими разрывами (65):

а – сложный сброс; б – сложный взброс; в, г – горсты; д, е – грабены





Рисунок 2.1.16 – Горст – гора Рорáйма(Roraima) (66).

Гора представляет собой плато (тепуи) площадью около 34 км<sup>2</sup> на стыке Бразилии, Венесуэлы и Гайаны. Высочайшая точка этого массива – 2723 м над уровнем моря. Плато со всех сторон ограничено вертикальными обрывами, куда обрушиваются многочисленные водопады. Над Рораймой постоянно висят большие облака. На плато ведет только одна относительно безопасная тропа. По отчётам об экспедиции в район этой горы Артур Конан-Дойль написал роман «Затерянный мир».



Рисунок 2.1.17 – Грабен в рифте Валлаби, Кения (67)

Следует отметить, что древние тектонические нарушения земной коры могут быть практически незаметны на поверхности Земли, поскольку в результате процессов выветривания в течение сотен тысяч и миллионов лет возвышенности разрушаются, а понижения заполняются осадочным материалом. Например, центральный грабен Днепровско-Донецкой впадины, протянувшейся вдоль левобережья Днепра (рис. 2.1.18) ничем не выделяется на местности, несмотря на то, что глубина погружения блоков

кристаллического фундамента в его середине (юго-запад Харьковской области) достигает 15 км, а на склонах Днепра породы фундамента выходят на поверхность.

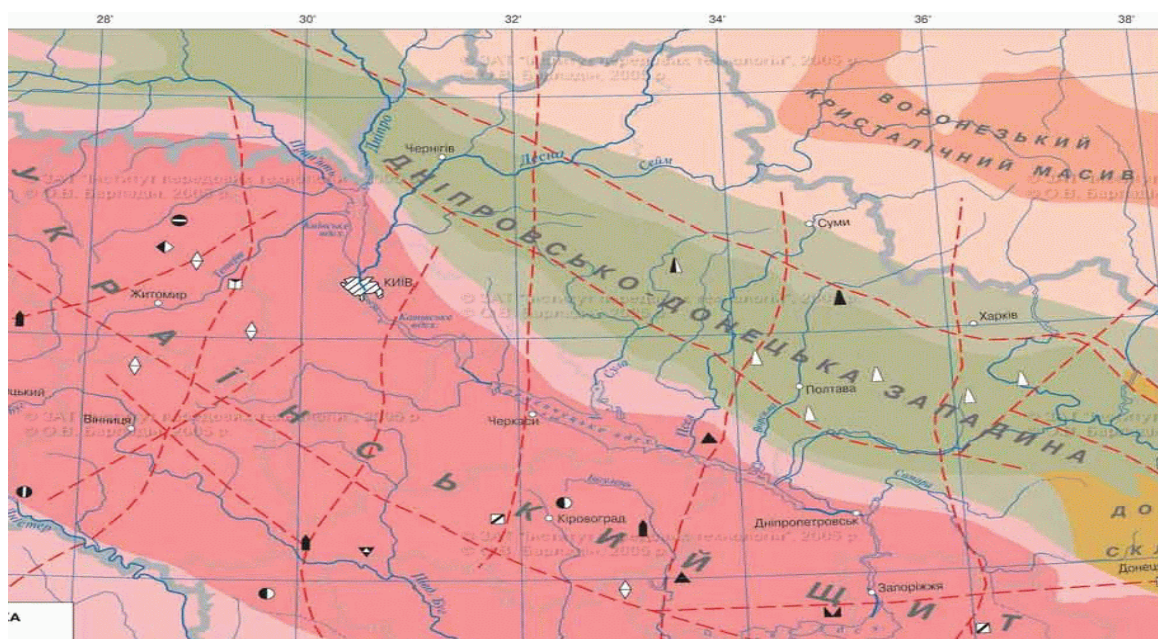


Рисунок 2.1.18 – Северо-восточный участок тектонической карты Украины. Красным пунктиром обозначены глубинные разломы; темно-серым цветом – Днепровский центральный грабен (68)

*Строительство в условиях тектонических нарушений.* Дислокации горных пород на месте будущего строительства, как правило, ухудшают строительные свойства природных оснований зданий и сооружений. Это проявляется в различии свойств горных пород на различных участках нарушений, их раздробленности и трещиноватости, и, как следствие, неравномерной осадки под нагрузкой; в проявлениях современной активности нарушений, т.е. тектонических движений грунтов в основаниях, которые могут осложнить условия строительства и эксплуатации объектов. Таким образом, с инженерно-геологической точки зрения наиболее благоприятными местами строительства является залегание горных пород в виде сплошной толщи или чередования горизонтальных слоев большой мощности с однородным составом. В этом случае фундаменты зданий и сооружений располагаются в грунтовой среде, где возможна равномерная осадка грунтового основания под весом сооружения и гарантируется его устойчивость.

Наличие дислокаций, сложных складок, а особенно разрывных нарушений, резко усложняет инженерно-геологические условия строительства – нарушается однородность грунтов основания сооружений, образуются зоны дробления, разломы и снижается прочность пород. По разрывным нарушениям происходят смещения блоков горных пород, существенно меняется режим подземных вод: возможен их существенный приток в строительные котлованы и в подземные сооружения. Это вызывает неравномерную сжимаемость грунтов основания и деформацию самого сооружения вследствие неравномерной осадки различных его частей. Также не рекомендуется располагать здания на линиях разломов. Поэтому в зонах тектонических осложнений особенно важно проведение тщательных инженерно-геологических изысканий на месте будущего строительства.

## 2.2 Магматизм и вулканы

### **Интрузивный и эффузивный магматизм. Характер извержений вулканов. Поствулканические процессы. Значение вулканизма**

Магматизмом называют глубинные процессы и явления, связанные с образованием и движением магмы из недр Земли к ее поверхности, обусловленные внутренним теплом и гравитационным полем Земли. Магма представляет собой природный высокотемпературный расплав, образующийся в отдельных очагах в литосфере и верхней мантии, главным образом в астеносфере.

Выделяют магматизм интрузивный и эффузивный. При интрузивном магматизме магма не достигает земной поверхности, а активно внедряется в вышележащие породы, частично расплавляет их и застывает в трещинах и пустотах земной коры. При эффузивном магматизме (вулканизме) магма достигает поверхности Земли и застывает в процессе извержений вулканов различных типов. В обоих случаях при застывании расплава образуются магматические горные породы. Формы проявления магматизма зависят от геологических и тектонических условий при образовании и движении магмы.

*Интрузивный магматизм.* В случае, если поднимающаяся магма не достигает поверхности Земли, а застывает внутри земной коры, образуются глубинные магматические тела – интрузии. Форма этих тел может быть очень разнообразной и, в свою очередь, определяется составом и физическими свойствами магмы, а также характером вмещающих пород.

Существуют два основных способа внедрения магмы во вмещающую толщу:

- магма может проникать по плоскостям напластования осадочных пород или по трещинам и разломам, пересекающим вмещающую толщу и может поднимать пласты кровли или, наоборот, вызывать прогиб подстилающих пластов, воздействуя своей массой;

- в случае внедрения крупных масс расплава происходит обрушение пород кровли, которые тонут и ассимилируются с ним, т.е. магма сама формирует пространство, которое занимает.

От механизма внедрения магмы зависит форма интрузивных тел. Основные виды и условия залегания магматических интрузивных тел рассмотрены в разделе 1.3.

*Эффузивный магматизм.* Этот вид магматизма наблюдается в случае, если магма поднимается из недр и изливается на поверхность Земли. Излившаяся на поверхность магма превращается в лаву. Лава отличается от магмы тем, что почти не содержит летучих компонентов (газов и водяных паров), которые при извержении и резком падении давления в расплаве отделяются от магмы и выбрасываются в атмосферу. При излиянии магмы на поверхности образуются вулканы трех основных типов: площадные (или ареальные), трещинные и центральные.

*Площадные вулканы* – это, по существу, моря расплавленной лавы. Они существовали только на самых ранних этапах развития Земли, когда излияния магмы происходили на обширных площадях, земная кора была тонкой и на отдельных участках могла полностью расплавиться.

*Трещинные вулканы* представляют собой излияния лавы по протяженным трещинам и разломам. Вулканизм трещинного типа в некоторые периоды истории Земли достигал очень широких масштабов. На современном этапе трещинные вулканы



распространены ограниченно и встречаются в отдельных районах, например, вулканы Лаки и Крафла в Исландии (рис. 2.2.1), некоторые вулканы на Гавайях и Камчатке. Трещинные излияния также широко распространены на склонах крупных гавайских вулканов. На юго-восточной стороне вулкана Килауэа из трещины длиной 9 км вылился поток жидкой лавы длиной 6,5 км и толщиной всего несколько сантиметров. Извержения этого типа, по-видимому, широко развиты в подводных разломах Восточно-Тихоокеанского поднятия, Срединно-Атлантического хребта и в других активных зонах Мирового океана. Центральный тип вулканов. Большинство современных вулканов относится к центральному типу. При извержении таких вулканов обычно образуются конусообразные сооружения – стратовулканы, сложенные из чередующихся слоев продуктов извержений: лавы, тефры (пепел, зола), пемзы, вулканического стекла. Фотографии некоторых вулканов этого типа приведены на рисунках 2.2.2, 2.2.3.

В настоящее время на суше Земли известно более 700 действующих вулканов, и они являются лишь небольшой частью от числа условно «потухших» на всей поверхности земного шара. Большая часть вулканов активизируется периодически, а долгие периоды времени они находятся в состоянии покоя. В этом случае признаки вулканизма проявляются лишь в виде выхода водяного пара, фумарол (выходы различных газов), горячих (в том числе кипящих!) озер и гейзеров. К потухшим вулканам относят те, которые не возобновляли своей деятельности в течение истории человечества. Кроме вулканов на суше есть очень много подводных вулканов, число которых практически не поддается учету: только в Тихом океане предполагается наличие не менее 10 тысяч мест излияния лав.

Большинство вулканов расположены в зонах тектонической активности на краях литосферных плит (рис. 2.2.4), хотя имеется ряд исключений, например, очень активные Гавайские вулканы, находящиеся в середине Тихоокеанской плиты.



Рисунок 2.2.1 – Извержение трещинного вулкана Крафла, Исландия (69)





Рисунок 2.2.2 – Гора Килиманджаро (70): Это уже не действующий стратовулкан на границе Танзании с Кенией. Килиманджаро – это самая высокая точка Африки (5892 м над уровнем моря) и самая большая в мире отдельно стоящая гора. Вулкан знаменит своей заснеженной вершиной, которая возвышается над саванной, несмотря на близкое расположение к экватору.



Рисунок 2.2.3 – Вулкан Бромо (71): Это активный вулкан, являющийся частью горного массива Тенгер на востоке острова Ява. Вершина вулкана взорвалась, и теперь кратер извергает белый сероводородный дым. Вулкан окружен так называемым «Морем из песка» (Лaut Пасир) с темным вулканическим песком.

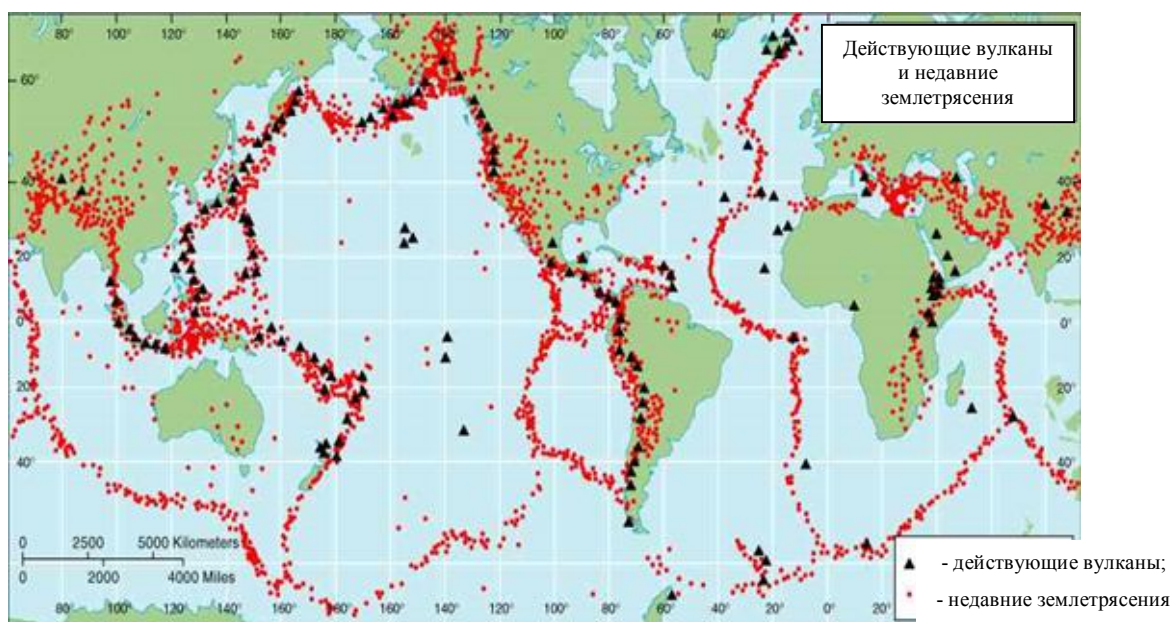


Рисунок 2.2.4 – Карта действующих вулканов (черные треугольники) и недавних землетрясений (красные кружки) (72)

Классификация вулканов по характеру извержений. Извержения вулканов носят различный характер: могут сопровождаться взрывами и землетрясениями или протекают спокойно.

Вулканы по характеру извержений разделяют на три категории: лавовую, газовойзрывную и смешанную. А характер извержения, в свою очередь, определяется составом лавы и температурой, степенью ее вязкости и подвижности, количеством содержащихся в ней газов. В вулканических извержениях наблюдаются три основных процесса:

*эффузивный* – излияние лавы из жерла вулкана и растекание ее по земной поверхности;

*эксплозивный* (газово-взрывной) – взрыв и выброс наружу большого количества пирокластического материала (твердых продуктов извержения);

*экструзивный* – выжимание, выдавливание магматического вещества на поверхность в жидком или твердом состоянии.

В ряде случаев наблюдаются взаимные переходы этих процессов и сложное их сочетание. В каждой категории выделяют отдельные типы вулканов, называемые по наиболее характерному извержению вулкана данного типа (табл. 2.2.1).

Таблица 2.2.1 – Классификация вулканов по характеру извержений

Вид извержения	Тип вулкана	Характерные извержения вулканов и годы	Местоположение
1	2	3	4
Эффузивный (лавовый)	Гавайский	Мауна-Лоа (1950), Килауэа (1959)	Гавайские острова
	Исландский	Лаки (1782), Гекла (2000)	Исландия

1	2	3	4
Эксплозивный (газово-взрывной)	Кракатауский	Кракатау (535, 1680, 1883)	Индонезия
	Бандайсанский	Бандай-Сан (1888)	Япония
	Катмайский	Катмаи (1912)	Аляска
	Газово-взрывные воронки	Маары	Германия, Франция
Экструзивный	Пелейский	Мон-Пеле (1902)	Мартиника, Антильские острова
Смешанный	Плинианский (этно-везувианский, вулканический)	Везувий (79, 1944), Этна (1226 до н.э. – 2013), Вулькано (183 до н.э., 1890)	Италия
	Стромболианский	Стромболи (регулярно в течение 2400 лет)	Италия

Гавайский тип извержений характеризуется излияниями жидкой, очень подвижной базальтовой лавы, формирующей огромные плоские щитовые вулканы (рис. 2.2.5). Пирокластический материал практически отсутствует. В ходе извержений фонтаны лавы выбрасываются через центральный канал или разломы и растекаются вниз по склону потоками небольшой мощности на десятки километров. Лава может скапливаться в старых кратерах, формируя лавовые озёра. К гавайскому типу, кроме гавайских, близки извержения вулкана Фурнез на острове Реюньон и Большое трещинное Толбачинское извержение на Камчатке.



Рисунок 2.2.5 – Вулкан Килауэа, Гавайские острова (73)



*Исландский тип* характеризуется выбросами очень жидкой базальтовой лавы с включениями пирокластического материала, при этом образуются плоские щитовые вулканы. Извержение происходит большей частью по трещинам.

*Кракатауский тип* извержений. Характерной особенностью этого типа извержений являются внезапные мощные взрывы, сопровождающиеся выбросами огромного количества пирокластического материала. Так, грандиозный взрыв вулкана Кракатау, расположенного в Зондском проливе между островами Суматра и Ява, произошел в 1883 году. Звук от взрыва был слышен за 5000 км, а столб вулканического пепла достиг 100-километровой высоты. На месте острова Кракатау возникла гигантская воронка (кальдера), в которую обрушились и моментально закипели океанские воды. Образовались огромные волны — цунами, высотой от 25 до 40 метров, от которых в прибрежных районах Индонезии погибло до 40 тысяч человек. В 1927 году извержения подняли из моря вулкан Анак Кракатау (Дитя Кракатау). Вулканический остров продолжает расти, прибавляя до 7 метров в год. Последнее извержение Анака началось в апреле 2008 года и продолжается до сих пор (рис. 2.2.6).



Рисунок 2.2.6 – Остров-вулкан Анак Кракатау, Индонезия (74)

Еще одно из сильнейших извержений такого типа произошло в 1815 г. на индонезийском острове Сумбава, когда взорвался вулкан Тамбора. Из кратера было выброшено около  $100 \text{ км}^3$  пепла на высоту до 20 км. При этом на удалении до 40 км были разбросаны вулканические бомбы диаметром до 13 м, а в 150 км от вулкана толщина слоя выпавшего пепла достигала 0,5 м. При взрыве и от его последствий погибло ~ 100 тыс. человек.

*Бандайсанский тип* (газовое или фреатическое извержение). Один из видов центрального извержения, когда после очень продолжительного периода покоя внезапно возобновляется деятельность старого, считавшегося потухшим вулкана. Происходят очень



сильные, но весьма кратковременные взрывы, сопровождающиеся выбросами огромных масс пара и обломков застывшей лавы, при полном отсутствии расплавленной. Такой характер имело извержение в 1888 г. японского вулкана Бандай-Сан, молчавшего больше тысячи лет. Причиной подобных извержений считают постепенное накопление тепла из затухающего очага и медленное возрастание давления пара от проникающих в глубину атмосферных вод до состояния взрыва.

*Катмайский тип* – это извержение массы раскаленного газа, вулканического песка и обломков пемзы, происходящее главным образом из системы многочисленных трещин. Гигантское извержение такого типа произошло в 1912 году вблизи вулкана Катмаи на Аляске, когда в «Долине десяти тысяч дымов» на площади  $\sim 140 \text{ км}^2$  отложилось до  $16 \text{ км}^3$  мелкораздробленного материала, совершенно сгладившего рельеф. Извержение произошло из новообразованного вулкана Новарупта и трещин в дне долины.

*Газово-взрывные воронки* (маары) — это цилиндрические или воронкообразные кратеры газового взрыва, происходящего без излияния лавы. Они иногда окружены валом приподнятых взрывом горных пород. Глубина современных мааров достигает 400 м, поверхностный диаметр составляет от 200 до 3200 м. Типичные маары встречаются в Германии (вулканический массив Айфель) (рис. 2.2.7) и во Франции (Овернь). Они нередко заполнены водой. Маары образуются в результате одного взрыва большой силы, происходящего, когда грунтовые воды входят в контакт с раскаленными породами.



Рисунок 2.2.7 – Вулканические воронки – маары, Германия (75)

*Пелейский тип* извержений характеризуется образованием грандиозных раскалённых пирокластических потоков или палящих туч (рис. 2.2.8), а также образованием в жерле вулкана и ростом экструзивных куполов из чрезвычайно вязкой лавы. Название этот тип извержений получил от вулкана Мон-Пеле или Монтáнь-Пелé (фр. Montagne Pelée – Лысая гора), расположенного в северной части острова Мартиника (Малые Антильские острова). Восьмого мая 1902 года взрывом была уничтожена вершина

проснувшегося вулкана, а вырвавшаяся из жерла раскалённая тяжёлая туча уничтожила город Сен-Пьер (рис. 2.2.9).



Рисунок 2.2.8 – Пирокластический поток – раскаленная туча (77).

Тучи, вырывавшиеся из кратера вулкана Пеле, представляли собой смесь горячих удушливых газов, раскаленных каменных осколков и расплавленного стекловидного вещества. Эта смесь образовала тяжелый черный клуб, который, будучи слишком тяжел для того чтобы подняться вверх, скатился вниз по склону, все сметая на своем пути.



Рисунок 2.2.9 – Город Сен-Пьер после прохождения через него раскаленной тучи (78)



Скорость пироклатического потока была такова, что 30 тысяч жителей погибли, прежде чем успели понять, что произошло. Черная, прорезываемая молниями туча скатилась по склону Мон-Пеле со скоростью почти 150 км/ час и смела с лица земли удаленный на 9 км город. Температура этой раскаленной тучи достигала, видимо, 800 °С. Ее механическое действие было необыкновенно сильно. Самые толстые деревья были вырваны с корнем, все стены каменных строений, расположенные перпендикулярно направлению движения тучи, оказались разрушены до основания. Огненная туча, уничтожившая город, рассеялась почти так же быстро, как появилась. И тогда стало видно, что от города не осталось буквально ничего, кроме пылающих руин. В городе погибли все, включая и моряков на кораблях в гавани, кроме одного-единственного человека. Это был Аугусте Кипарис – заключенный местной тюрьмы, который отбывал наказание в каменной камере без окон. Каменные стены тюрьмы выстояли: они не успели нагреться, защитили узника, и он чудом уцелел, отделавшись лишь ожогами. Бедствие, унесшее жизни тридцати тысяч его сограждан, стало для него счастливым поворотом в судьбе. Через четыре дня его откопали спасатели, и губернатор острова помиловал заключенного. Аугусте Кипарис вступил в цирковую труппу и в качестве «узника Сен-Пьера» объехал с ней весь мир, рассказывая свою историю и демонстрируя шрамы от ожогов.

Извержениям пелейского типа обычно предшествуют сильные подземные сотрясения. Магма вулканов чрезвычайно вязкая и содержит много газов. Извержение сопровождается сильными взрывами, а лава часто пробивает себе путь через боковые трещины, так как основное жерло перекрыто куполом из застывшей лавы. При выходе на поверхность лава вследствие значительной вязкости выдавливается вверх в виде огромной каменной пробки, образующей обелиск (рис. 2.2.10). При этом из-под пробки вырываются нагретые газы, капельки жидкой лавы и пепла, образующие «палящие тучи» из раскаленных продуктов извержения.



Рисунок 2.2.10 – Вершина вулкана Мон-Пеле через 10 месяцев после извержения (79)

Через полгода после извержения Мон-Пеле удивил феноменальным явлением: из его кратера начал расти острый зубец – обелиск застывающей лавы. Каждый день, начиная с 4 ноября 1903 года, он поднимался вверх на три метра. Формы и размеры обелиска постоянно менялись. То верхушка его обвалится настолько, что он понизится до высоты 15 метров, то выдвинется вверх до высоты 50 метров. Ночью обелиск светился особенно ярко в трещинах и в тех местах, откуда отрывались глыбы. К лету 1903 года высота конуса достигла 375 метров при диаметре 100 метров у основания, стены конуса испещрены глубокими вертикальными бороздами, так как при

выжимании лавовый материал был еще очень вязким. Глыбы, отламывающиеся от обелиска и падающие к его подножию, к концу 1903 года засыпали оставшееся пространство кратера и почти скрыли часть самого обелиска, сохранившуюся к тому времени.

*Плинианский* (этно-везувианский, вулканический) тип извержений – извержения вулкана, при котором происходят мощные взрывные выбросы лавы, различных газов и пара, сопровождающиеся массивным выпадением обломков вулканических пород, пирокластическими и лавовыми потоками. Название происходит от имени римского писателя и ученого Плиния Старшего, погибшего в г. Стабии при наблюдении за извержением Везувия в 79 г. н. э. К вулканам, характеризующимся этим типом извержений, кроме Везувия (рис. 2.2.11), относятся многие Средиземноморские вулканы (Этна, Вулькано и др.), стратовулканы, образующие «Тихоокеанское огненное кольцо», например, Сент-Хеленс (США), Фудзияма (Япония), Редаут (Аляска) (рис. 2.2.12). Кроме того, оно характерно для так называемых супервулканов – плоских вулканов, расположенных над огромными пространствами, заполненными магмой, таких как Йеллоустоунская кальдера в США.

Извержения вулканов плинианского типа происходят с большими взрывами, выбрасывающими большое количество лавы в воздух, которая затем выпадает на склоны вулканической горы и на смежные территории в виде вулканического пепла, песка, лапиллей и бомб. Огромное давление и выходящие газы пробивают закупоривающие жерло вулкана породы, выбрасывая в воздух кипящую лаву и каменные глыбы из стенок кратера. В течение нескольких часов при плинианском извержении на поверхность через вулканические каналы может быть выброшено несколько кубических километров материала. Нередко из облаков пыли и пепла образуются пирокластические потоки и палящие тучи. Эрупционная колонна, состоящая из вулканического пепла (рис. 2.2.12), часто достигает стратосферы, где частицы рассеиваются и начинают действовать как мощный светофильтр, препятствующий проникновению солнечной радиации к поверхности Земли. Это, в свою очередь, приводит к резкому похолоданию – эффекту «вулканической зимы». После особенно крупных извержений температура понижалась на всех континентах Земли.

Лава, которая вытекает из кратера, медленно движется в виде отдельных потоков. Скорость движения этих потоков относительно небольшая. Так, лавы Везувия в начальные моменты могут иметь скорость около 1 м/с, а затем скорость постепенно уменьшается до нескольких метров в минуту и менее. Длина лавовых потоков относительно небольшая: от первых километров до 15, максимум 30 км. Характерная особенность ряда вулканов подобного типа – наличие побочных, или паразитических кратеров, располагающихся на склонах основного вулкана. Одним из ярких примеров такого строения является вулкан Этна, Сицилия.

*Стромболианский тип* извержений характеризуется периодически фонтанирующей базальтовой лавой из основного, бокового кратера или трещины. Выбросы лавы или пепла, имеющие небольшую силу могут регулярно повторяться, часто через одинаковые промежутки времени – от нескольких минут до часа. При этом извергаемая лава имеет вязкую консистенцию, а потоки ее коротки. Фрагменты лавы представлены частично жидкими вулканическими бомбами, лапиллями и более мелкими частицами, которые застывают во время полета в воздухе. Стромболианский тип извержений назван по



вулкану Стромболи (рис. 2.2.13), расположенному на одном из Липарских (Эолийских островов), находящихся в Тирренском море к северу от Сицилии. Вулканическая деятельность Стромболи началась примерно 200 тыс. лет назад, но тогда он выходил на поверхность моря в двух километрах от нынешнего острова. От первого Стромболи осталась скала высотой 50 м, называемая Стромболиччио. А практически непрерывные извержения современного Стромболи начались от 2400 до 3000 лет назад. В рукописных документах они зафиксированы ~ 1000 г. н.э.

Моряки и рыбаки древности обходили остров Стромболи стороной: вспышки огня, запах серы и облака пепла, внушали им суеверный страх, но с течением времени оценили пользу от вулкана: его огонь указывал им путь ночью, и тогда мореплаватели стали называть его «Тирренским маяком».



Рисунок 2.2.11 – Вулкан Везувий, Италия (80)

Единственный в континентальной Европе действующий вулкан. Является одним из наиболее опасных, т.к. в его окрестностях, в том числе в г. Неаполе проживают до 3-х миллионов человек. Известно о более 80 его значительных извержениях. Самое известное произошло 24 августа 79 года н.э., когда были уничтожены древнеримские города Помпеи и Геркуланум.

Поствулканические процессы действуют долгое время после извержения вулкана. Поствулканические явления могут быть как опасны, так и полезны. Вулканические пары содержат химические элементы, которые образуют вредные для здоровья человека соединения, могущие вызвать отравления, повреждать дыхательные пути и глаза. Но в то же время, горячие минеральные источники, образующиеся в вулканических областях, часто обладают лечебными свойствами, помогая при различных заболеваниях.

Магма в жерле вулкана остывает достаточно медленно, что приводит к возникновению характерных явлений, основными из них являются: фумаролы, гейзеры, грязевые вулканы.



Рисунок 2.2.12 – Извержение вулкана Редаут Аляска, 1990 год (81): Относится к плинианскому типу – тому же, что извержение Везувия 79 года



Рисунок 2.2.13 – Извержения вулкана Стромболи имеют низкую интенсивность и очень регулярны (82)

*Фумаролы* (итал. fumarola, от лат. fumo – дым) – представляют собой выходы газов из недр через трещины и отверстия, располагающихся в кратерах, на склонах и у подножия вулканов (рис. 2.2.14). Фумаролы часто активизируются как до, но чаще после извержения вулкана. Газ, выходящий из трещин, может быть паром от нагретых подземных вод, или же продуктом, выделяющимся из магмы. Фумаролы нередко опасны из-за высокой концентрации ядовитых газов – к примеру, сернистых, которые могут повредить здоровью местных жителей и животных.

Фумаролы могут быть:

- сухие, высокотемпературные (650–1000 °C) – они обычно не содержат паров воды, а газы в основном состоят из соединений хлора;
- кислые – менее горячие, чем сухие с температурой 400–600 °C; их состав – HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, пары воды и возгоны хлоридов железа, магния, алюминия и марганца;
- щелочные – в состав входят щелочные соединения, газы аммиачных солей и возгоны нашатыря, сульфатов аммония и фториды, пары воды; температура – 200–400 °C;
- сероводородные (сульфатары) имеют температуру 100–300 °C и содержат соединения серы, которая интенсивно откладывается в местах выхода;
- углекислые (мофетты) – в основном состоят из углекислого газа, с примесью метана, соединений азота и являются самыми холодными.

*Мофетты* (итал. mofetta – место зловонных испарений на земле) – фумаролы с температурой 100 °C и ниже. Впадины, где находятся мофетты, называют долинами смерти, так как животные, попадая туда, задыхаются.

Большое количество фумарол имеется в регионах с активной вулканической и поствулканической деятельностью: в Йеллоустонском национальном парке в США, в «Долине десяти тысяч дымов» на Аляске, на Камчатке, Курильских островах, Исландии, Италии, Чили.

*Гейзеры* (от исл. geysa – хлынуть) – это горячие источники, которые извергают воду и пар на значительную высоту, как фонтан. Их название происходит от «Geysir» – названия самого известного источника этого типа в Исландии (рис. 2.2.15). Гейзеры возникают в тех районах, где на глубине в несколько десятков или сотен метров происходит быстрое повышение температуры до точки кипения воды. Частота выбросов воды различных гейзеров колеблется от нескольких минут до нескольких часов или дней. Для их появления требуются особые благоприятные условия, которые складываются в немногих местах на Земле.

Больше всего гейзеров (около 200) в Йеллоустонском национальном парке, США. Самые большие в парке – это «Гигант», который выбрасывает пар и воду на высоту до 40 метров с периодом в 3 дня и «Старый Служака» (высота фонтана – 42 метра, через каждые 50–70 минут). Один из самых красивых – гейзер «Замок» (рис. 2.2.16).

В Исландии действует около 30 гейзеров, среди которых, кроме «Старого гейсира», выделяются один из самых активных гейзеров мира – «Строккур», извергающийся каждые 5–10 минут, и «Прыгающая Ведьма (Грилла)», фонтанирующий пароводяной смесью через каждые 2 часа на высоту 15 метров.

Самый большой гейзер в Долине гейзеров на Камчатке – «Великан», выбрасывает струи воды высотой 40 метров и пара высотой несколько сот метров. Всего на Камчатке до схода селевого потока в 2007 года было около 100 гейзеров, из них около 20 – крупных.



Деятельность гейзеров может прекратиться из-за изменений в недрах, землетрясений и др. факторов. Так, самый большой и мощный на Земле новозеландский гейзер «Уаимангу» существовал с 1899 по 1904 год. Он выбрасывал при каждом извержении около 800 (!) тонн воды, а захваченные струей камни поднимались на высоту более 450 метров. Он фонтанировал нерегулярно с периодом от 5 до 30 часов. Действие этого гейзера прекратилось вследствие понижения на 11 метров уровня воды в соседнем озере.

Действие гейзеров вызывается соприкосновением фильтрующейся сверху воды с перегретыми породами от близкого магматического очага, после чего вода под действием геотермальной энергии быстро нагревается, вскипает и с силой выбрасывается вверх. Выводной канал гейзера имеет изгибы, препятствующие свободному выходу на поверхность пара и охлаждению воды путем конвекции (рис. 2.2.17). После излияния, вода в гейзере постепенно охлаждается, вновь просачивается к горячим породам, и вновь фонтанирует.



Рисунок 2.2.14 – Фумаролы на склонах вулканов (83): а – Редаут, Аляска; б – Форпикд, Аляска; в – Эбеко, на одноименном острове Курильской островной гряды, где известны ревушие фумаролы





Рисунок 2.2.15 – Гейзер (Geysir), Исландия, давший название всем современным гейзерам (84)



Рисунок 2.2.16 – Гейзер «Зáмок», Йеллоустоунский Национальный парк, США (85)

Щелочные воды гейзеров содержат растворенный кремнезем. У отверстия выводного канала отложения кремнистого туфа (гейзерита) могут образовать конус высотой до нескольких метров.

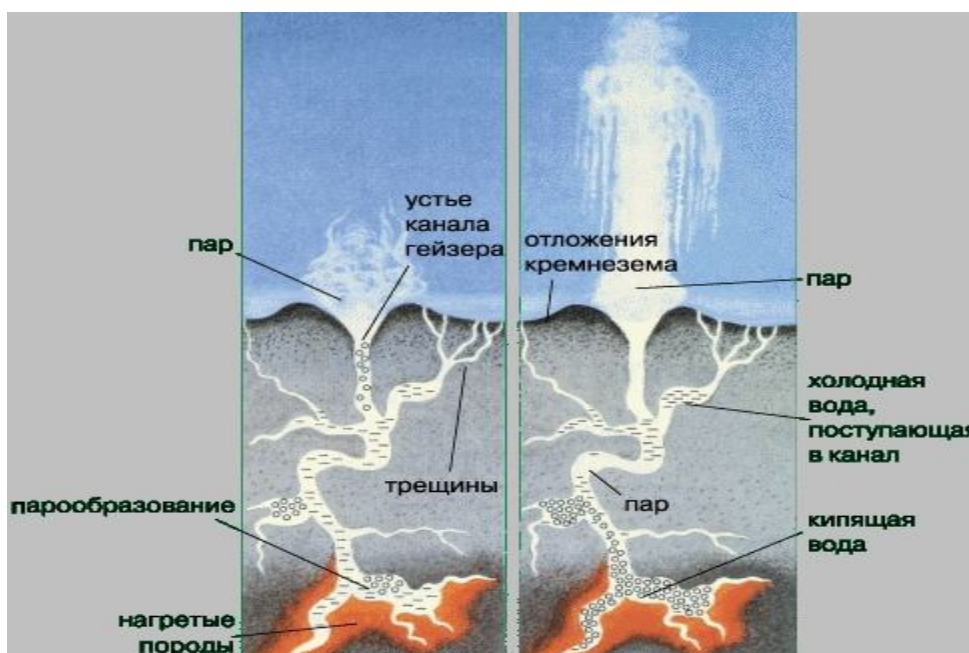


Рисунок 2.2.17 – Схема действия гейзера (86)

В результате образования пузырьков пара на глубине, уровень жидкости в канале гейзера поднимется вплоть до ее излияния на поверхность, при этом падение давления приводит к вскипанию остальной воды, образованию большого объема перегретого пара и выбросу пароводяной струи на большую высоту. Большая часть изверженной воды возвращается в каналы гейзера через трещины с поверхности земли. Однако, присутствие на небольшой глубине недавно застывшей магмы, указывает на то, что часть воды может быть магматического происхождения.

*Грязевые вулканы* являются своего рода горячими источниками, которые наполнены глинистым веществом текучей грязеподобной консистенции (рис. 2.2.18). На поверхности земли они представляют собой или округлые углубления (сальзы) или конусообразные возвышения с кратером (грязевые сопки), из которого постоянно или периодически на поверхность извергаются грязевые массы и газы, часто содержащие нефть и минерализованную воду. Размеры грязевого вулкана – от крупных возвышенностей, например, «Большая Кяниза», Азербайджан до бугорков высотой в несколько сантиметров. Они часто проявляются в областях, как активного вулканизма, так и в районах нефтегазовых месторождений. Грязь в вулкане часто пузырится, имеет повышенную температуру и может быть различных цветов. Если в грязи высокая концентрация серы, то ее цвет будет желтоватым, а железо в соединении с другими элементами придает красный оттенок.

Для образования грязевого вулкана необходимо наличие нескольких условий – достаточной концентрации постмагматических газов или подземных скоплений нефтяных газов, наличие напорных подземных вод, а также способных разжижаться сильнотрещиноватых глинистых пород.

Сущность грязевого вулканизма заключается в следующем. Газы (метан, сероводород и другие), выделяющиеся из остывающего магматического очага или нефтяных залежей, поднимаются по тектоническим разрывам вверх. Встречая глинистые породы, разжиженные напорными подземными водами, газы выносят их на поверхность.





Рисунок 2.2.18 – Грязевые вулканы в заповеднике Гобустан, Азербайджан (87)

Режим извержения грязевых вулканов разнообразен. Иногда извержение происходит очень спокойно с переливом через край кратера жидкой грязи. Количество излившегося вещества может изменяться в зависимости от сезона и количества влаги, поступающей на территорию, где расположен грязевой вулкан. Весной грязь в вулкане обычно жидкая, а ближе к осени – более густая и пузыри образуются очень крупные (рис. 2.2.19). Над кратером вулкана вздувается газо-грязевой пузырь, который лопается при достижении пределов натяжения грязевой пленки. Выделяющиеся вместе с грязью газы могут самовозгораться, образуя факелы. (рис. 2.2.20). Изредка извержения бывают весьма мощные, например, извержение вулкана «Горелое пекло» (Тамань) в 1794 году, которое было слышно на расстоянии до 50 километров.



Рисунок 2.2.19 – Крупный пузырь в грязевом вулкане, Таманский полуостров (88)



Рисунок 2.2.20 – Единственный в Карпатах грязевой вулкан (89)

Вулкан возник после землетрясения 1977 года на месте озокеритового промысла на окраине села Старуня, Ивано-Франковской области. Он не дымит и почти ничего не извергает, но загадочно ухает газом, пузырится в битумных лужах и сочится маслянистой жидкостью, а главное жерло горит вечным огнем.

Наибольшее количество грязевых вулканов (около 350 из 800 известных) расположено в Азербайджане на Апшеронском полуострове. Распространены они также в Туркмении, в бассейнах Чёрного и Азовского морей (Таманский и Керченский полуострова), Румынии, в Италии, Исландии и США.

Крупнейшие грязевые вулканы имеют диаметр до 10 км, а высота конуса до 500–700 м. В деятельности крупнейших грязевых вулканов выделяют две стадии: эксплозивную (кратковременная с довольно сильными извержениями) и грифонную (более длительная и спокойная в промежутках между извержениями). Извержение грязевых вулканов сопровождается мощными выбросами газов, твёрдых обломков и грязи, которые иногда поднимаются на высоту до нескольких километров. На территории Азербайджана с 1810-го года по настоящее время из 50 вулканов произошло приблизительно 200 извержений. Из глубоких пластов земли наружу выходят газы и сразу воспламеняются. Высота пламени над вулканом достигает до 1 км (вулкан Гарасу). В грифонную стадию из грязевых вулканов медленно вытекает жидкая грязь или густая масса смятой породы – сопочная брекчия.

Иногда деятельность человека может привести к активизации грязевых вулканов или даже возникновению новых. При возникновении в населённых районах это может существенно влиять на жизнедеятельность человека, как, например, грязевой вулкан Люси, возникший в 2006 году в округе Сидоарджо на острове Ява и извергающийся до сих пор (рис. 2.2.21).





Рисунок 2.2.21 – Последствия извержения грязевого вулкана Люси (от сокращения слов Lumpur и Sidoarjo, индон. Lumpur – грязь), Индонезия (90)

28 мая 2006 года геологическая компания Lapindo Brantas начала бурить разведочную скважину. На первой стадии был пройден мощный слой глины в интервале 500–1300 м. Затем, пробуравив через песок и вулканический пепел, достигли горной породы заполненной морскими карбонатами и водой, находящейся под аномально высоким давлением. Во время второй стадии бурения до глубины 2834 м, на поверхность земли в 200 м юго-западу от скважины произошёл небольшой выброс воды, пара и газа. Следующие два извержения произошли 2 и 3 июня примерно в 1000 м к северо-западу от скважины. В ходе этих извержений на поверхность выходили сероводород и грязь при температуре 60 °С. Образовавшийся вулкан ежедневно стал выбрасывать по 7–150 тыс м<sup>3</sup> грязи. К сентябрю 2006 года потоки горячей грязи залили окрестные деревни и поля, покрыв площадь около 2,4 км<sup>2</sup> и заставив переселиться 11 тыс. человек. Были уничтожены дома, рисовые поля, фабрики и креветочные фермы. Из-за сильного проседания земли (до 2 м) и прорыва загрязняющего вала грязевыми потоками 23 ноября 2006 года взорвался газопровод, повлекший гибель людей.

С целью предотвращения растекания грязи вокруг уже затопленной области была создана система земляных валов и дамб, а также производилась перекачка грязи в реку, расположенную немного южнее. Кроме того, в конце февраля 2007 года была предпринята попытка закрыть жерло вулкана бетонными шарами. После опускания нескольких сотен таких шаров исток грязи прекратился на 30 минут, а затем возобновился.

В апреле 2008 года вулкан Люси стал проваливаться под собственным весом, что привело к образованию кальдеры, глубина которой может достигнуть 150 метров. Грязь растеклась по площади 6,5 км<sup>2</sup>, заставив около 36 тысяч жителей из 12 близлежащих деревень покинуть свои дома. Слой грязи толщиной до 15 метров полностью затопил здания.

Несмотря на все попытки погасить извержение, активность вулкана продолжается, и неизвестно, когда оно прекратится. Существуют оценки, по которым извержение будет продолжаться ещё 30 лет.

*Значение вулканизма.* Вулканы и их деятельность относятся к одним из наиболее опасных явлений природы, перед которыми до настоящего времени человек чувствует себя незащищённым. Истории известно огромное количество извержений с необратимыми последствиями, которые сопровождались экологическими катастрофами и гибелью людей, однако, на современном этапе развития науки возможно довольно точно предсказать вулканические извержения. Почти на каждом действующем вулкане находятся станции или приборы, позволяющие производить мониторинг его состояния. Стандартное решение при угрозе катастрофы – это эвакуация соседних поселков и городов. Иногда удается организовать альтернативные защитные мероприятия. Например, в 1983 году при извержении Этны (о. Сицилия) на склоне вулкана при помощи направленных взрывов удалось создать специальное русло для лавы, что спасло от угрозы ближайшие поселки.

Представляет интерес история борьбы жителей исландского городка Вейстманнаэйяр со своим вулканом, извержение которого началось 23 января 1973 года. Около 200 человек, оставшихся после эвакуации населения, остановили лавовый поток, ползущий к порту при помощи пожарных шлагов. Остывая от воды, лава каменела. Затем в борьбу включились мощные струи морской воды от вошедшего в порт земснаряда. После были смонтированы постоянно действующие трубопроводы для подачи воды для остужения лавы. В результате удалось спасти большую часть города, порт, при этом никто не пострадал. Борьба с вулканом продолжалась почти полгода.

Среди положительных примеров использования вулканической активности является геотермальная энергия. Тепло, создаваемое вулканом, используется как для отопления городов, так и для работы электростанций: условия в вулканических областях для них самые оптимальные. Например, в системах теплоснабжения Исландии 100 % теплоносителя – это природные геотермальные воды. Основной проблемой может быть иногда слишком высокая температура используемых вод, а также высокое содержание в них коррозионных веществ.

Продукты вулканических извержений (базальт, туфы, пемза, вулканический песок и др.) широко применяются в строительном производстве. Почвы на склонах многих вулканов из-за выпадения вулканического пепла отличаются высоким плодородием и широко используются в сельском хозяйстве.

Еще одним полезным компонентом эндогенных процессов является использование геотермальных вод и грязей в бальнеологических целях. Благодаря высокому содержанию полезных для здоровья человека веществ (бром, йод, радон и многие другие) в термальных источниках и грязевых вулканах, на их базе организованы многочисленные курорты и лечебные учреждения.

## 2.3 Сейсмические явления

### **Виды сейсмических явлений. Причины и механизм возникновения землетрясений. Сейсмическое районирование. Принципы строительства в условиях сейсмичности территории**

Сейсмические явления (от греч. *seismos* – землетрясение) – это процессы и явления, связанные с землетрясениями и их последствиями. Под угрозой землетрясений находятся многие обширные территории, густонаселенные области и даже целые страны, например, Япония, Непал. Наибольшая опасность землетрясений заключается в их неожиданности и слабой предсказуемости их силы, а значит, и последствий. Землетрясения представляют собой разнонаправленные движение земной поверхности, вызванные воздействием сейсмических волн. Сейсмические волны обычно ощущаются людьми как сильные, интенсивные сотрясения земли. Ежегодно сейсмическими станциями, созданными для наблюдения и изучения колебаний земной коры, регистрируют примерно 500 тысяч землетрясений различной силы. Из них ~ 100 тысяч ощущаются людьми, а 1000 причиняют ущерб. В XX веке ежегодно регистрировалось до 20 толчков силой от шести баллов и выше.

Землетрясения являются наиболее опасным из природных процессов, приводящим к сильнейшим катастрофам с разрушениями целых городов и гибелью десятков и сотен тысяч людей. По приблизительным оценкам, за последние 4 тыс. лет землетрясения и возникшие в их результате провалы, оползни, пожары, цунами, наводнения и иные последствия унесли жизни более 13 млн человек.

Согласно историческим хроникам, наибольшее количество людей погибло в результате землетрясения летом 1201 года в Египте и Сирии – свыше миллиона человек. Великое китайское землетрясение, произошедшее 23 января 1556 года в провинциях Ганьсу и Шэньси, унесло жизни примерно 830 000 человек.

В Европе одним из самых разрушительных и смертоносных было Великое лиссабонское землетрясение. Оно произошло в 9:20 утра 1 ноября 1755 года и за несколько минут превратило в руины столицу Португалии Лиссабон – один из крупнейших городов в мире в то время. Погибли около 90 тыс. из 275 тыс. человек, населявших город. Эпицентр землетрясения находился в Атлантическом океане примерно в 200 километрах юго-западнее португальского побережья. Землетрясение произошло утром в католический праздник – День всех святых, и большинство людей в это время находились в храмах. Те, кто верил в божью кару за грехи, видели в этом возмездие. Согласно сохранившимся описаниям, землетрясение продолжалось от трёх с половиной до шести минут, вызвав огромные трещины в земле шириной до пяти метров, отделившие центр города от остальной его части. Люди, оставшиеся в живых после первого толчка, устремились к порту, казавшемуся безопасным, и увидели, что вода отступила от берега и видно дно океана с многочисленными обломками кораблей. Через несколько минут после землетрясения огромное цунами накрыло гавань и центр города. За ним последовали ещё две громадные волны. Районы города, не затронутые цунами, были уничтожены пожарами, продолжавшимися пять дней. Большинство зданий города были разрушены, включая знаменитые дворцы, соборы, библиотеки. Здания, которые не были разрушены землетрясением, сгорели в огне (рис. 2.3.1).

В настоящее время сейсмологи оценивают магнитуду Лиссабонского землетрясения около 8,7 по шкале Рихтера. Это первое изученное современными ему учеными землетрясение, которое послужило началом к зарождению науки сейсмологии.



Рисунок 2.3.1 – Великое Лиссабонское Землетрясение 1755 года (старинная гравюра) (91)

Одно из самых катастрофических по разрушениям было землетрясение Шинсай (яп. «Великое»), произошедшее 1 сентября 1923 года в Японии. В городах Токио и Йокогаме было разрушено 575 000 домов, число погибших превысило 140 000 человек. Произошли крупнейшие изменения в рельефе: например, морское дно в заливе Сагами опустилось на 400 метров! Самое большое число жертв в XX веке зарегистрировано при Таншаньском землетрясении, произошедшем в Восточном Китае в 1976 году, тогда погибло около 700 тысяч человек и произошли колоссальные разрушения (рис. 2.3.2).



Рисунок 2.3.2 – Мост, разрушенный в городе Таншане, Китай, при землетрясении 1976 года (92)



К некоторым из крупнейших землетрясений уже XXI века относятся землетрясение в Индийском океане, произошедшее 26 декабря 2004 года, с магнитудой 9,3. От последовавшего цунами на побережьях Таиланда, Индонезии, Индии, Шри-Ланки погибли 225–250 тыс. человек.

При землетрясении на острове Гаити (магнитуда 7,0) 12 января 2010 года погибло 220 тыс. человек, 300 тыс. получили ранения, 1,1 млн лишились жилья.



Рисунок 2.3.5 – Цунами на побережье о. Хонсю, Япония 11 марта 2011 г. (93)

В результате Сендайского землетрясения и цунами (рис. 2.2.3) вблизи острова Хонсю, Япония (магнитуда 9,0) 11 марта 2011 года погибли 13 439 человека, 14 867 человек пропали без вести. Произошла серьезная авария на АЭС «Фукусима» (рис. 2.2.4).



Рисунок 2.3.4 – Пожар на АЭС «Фукусима-1», Япония, возникший в результате землетрясения и цунами (94)

Несколько землетрясений с магнитудой от 3,2 до 7,9 произошли в Непале 25–28 апреля 2015 г. (рис. 2.3.5). Погибло более 7 тыс. человек, более 14 тыс. раненых, в том числе альпинисты в районе Эвереста (рис. 2.3.6).



Рисунок 2.3.5 – Землетрясение в Непале 25-28.04.2015 г.: а – разрушение зданий; б – трещины на дорогах (95)



Рисунок 2.3.6 – Снежная лавина, обрушившаяся на базовый лагерь у подножья Эвереста при землетрясении в Непале в апреле 2015 г. (96)

### **Виды землетрясений, их причины и механизм возникновения**

В широком смысле под термином землетрясение можно понимать любые сотрясения поверхности Земли, а в более узком (и общепринятом) смысле – это кратковременное сотрясение поверхности Земли, вызванное сейсмическими волнами при внезапном выделении энергии в недрах земной коры или верхней мантии. Большая часть всех известных землетрясений вызваны сейсмическими ударами при резких сдвигах тектонических плит, и они называются тектоническими землетрясениями. Их количество



составляет до 95 % от всех сейсмических сотрясений, и они имеют наибольшую интенсивность. Кроме того, по причинам возникновения выделяют землетрясения вулканические, обвальные (денудационные) и техногенные (табл. 2.3.1).

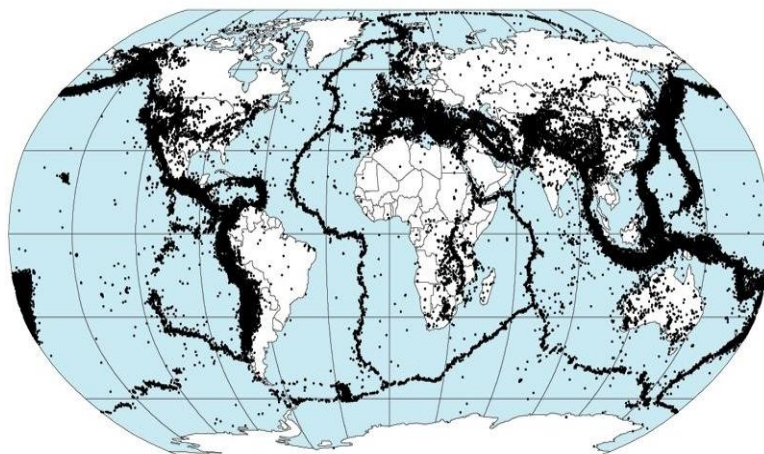
Таблица 2.3.1 – Классификация землетрясений по причинам возникновения

Тип землетрясения	Процент от общего числа	Максимальные магнитуды
Тектонические	~95 %	до 9,5
Вулканические	до 5 %	до 8
Обвальные (денудационные)	<1 %	не более 5
Техногенные (антропогенные)	< 0,1 %	до 7

*Тектонические землетрясения.* При движении тектонических плит литосферы, которое обусловлено тепловой конвекцией мантийного вещества в сочетании с динамическими эффектами вращения Земли, на границах плит (а иногда и в их середине) возникают напряжения и упругие деформации горных пород, вызванные сопротивлением перемещению со стороны соседних плит. Большинство землетрясений на Земле происходит по периферии Тихого океана, эта зона называется «Тихоокеанским поясом». Другой район высокой сейсмичности – «Средиземноморско-трансзиатский» простирается от Срединно-Атлантического хребта через бассейн Средиземного моря и прилегающие складчатые структуры (Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ), Иран, Гималаи, Восточную Азию вплоть до Тихого океана. «Атланти-арктический» пояс проходит через Срединно-Атлантический подводный хребет, Исландию, остров Ян-Майен и подводный хребет Ломоносова в Арктике (рис. 2.3.6).

Землетрясения нередко происходят также в зоне впадин и рифтовых разломов, таких, как Красное море, озера Танганьика и Ньяса в Африке, Иссык-Куль и Байкал в Азии. Землетрясения в середине плит возникают в местах горообразования, под складками – горами, образующимися при выгибании пластов вверх в виде свода. В этих складках действуют сжимающие силы, и когда такое напряжение горных пород снимается за счет резкой подвижки, то возникает землетрясение. Одна из самых быстрорастущих складок в мире, вызывающая сильные землетрясения, находится в Калифорнии. Аналогичный тип также имело Ашхабадское землетрясение 1948 года в предгорьях Копет-Дага.

Рисунок 2.3.6 – Эпицентры землетрясений (обозначены черными точками), произошедших в течение 1963–1998 годов, всего 358214 событий (97)



Землетрясение представляет собой быстрый переход потенциальной энергии, накопленной в упругодеформированных (сжимаемых, сдвигаемых или растягиваемых) горных породах литосферных плит в энергию изменения структуры пород (нарушения их сплошности в виде резкого разрыва) в очаге землетрясения, а также в энергию колебаний соседних пород (вплоть до земной поверхности). Этот переход происходит в момент превышения предела прочности, разрыва и сдвига пород в очаге землетрясения, а колебания от него распространяются в виде сейсмических волн.

Очагом тектонического землетрясения является замкнутый объем земного вещества, в котором за достаточно короткий (до 1-3 минут) промежуток времени произошло смещение (подвижка) одной части объема относительно другой. Именно в этой точке начинается генерация сейсмических волн, которые могут привести к разрушениям далеко за пределами очага. Гипоцентром землетрясения называется место, в котором происходит подвижка. Эпицентром землетрясения называется вертикальная проекция гипоцентра на земную поверхность.

В некоторый момент землетрясения возникает препятствие взаимному смещению блоков вдоль образовавшихся разломов – за счет силы трения на сжатых участках, зацепления на поверхностях блоков. Не освободившаяся часть энергии вызывает в новых контактах напряжения, которые через некоторое время опять преодолеют сопротивление трению, возникает движение и новый толчок меньшей силы, чем в момент основного землетрясения. Этих повторных толчков – афтершоков – после сильного землетрясения может быть до нескольких десятков или даже сотен, и происходят они, постепенно ослабевая в течение нескольких дней или месяцев. При этом отдельные афтершоки по силе могут приближаться к силе основного землетрясения. Иногда землетрясениям предшествуют слабые толчки – форшоки.

*Виды сейсмических волн.* Колебания, распространяющиеся из очага землетрясения, представляют собой упругие волны, характер и скорость движения которых зависят от упругих свойств и плотности пород. Различают три основных вида сейсмических волн: продольные, поперечные и поверхностные волны (рис. 2.3.7).

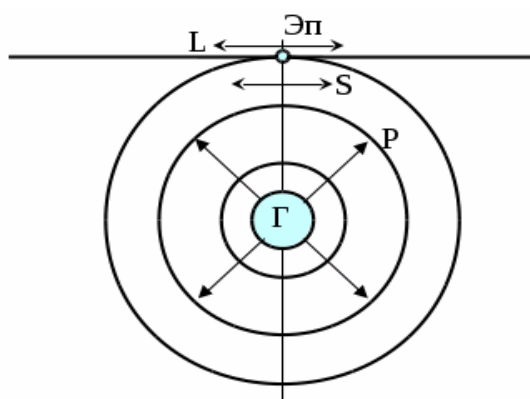


Рисунок 2.3.7 – Распространение сейсмических волн (98):

Г – гипоцентр землетрясения;  
Эп – эпицентр землетрясения;  
Р – продольные волны;  
S – поперечные волны;  
L – поверхностные волны

*Продольные* или *первичные* волны – Р-волны (от лат. *prima* – первый) распространяются во все стороны от гипоцентра и приходят к поверхности земли первыми, т.к. имеют скорость в 1,7 раза больше, чем поперечные. При прохождении продольных волн каждая частица среды подвергается сначала сжатию, а затем растяжению, испытывая при этом возвратно-поступательное движение в направлении



распространения волны. Они распространяются во всех средах: твердых, жидких и газообразных. Скорость распространения Р-волн в горных породах вблизи земной поверхности составляет около 6 км/с, а на очень больших глубинах повышается до 13 км/с.

*Поперечные* или *вторичные волны* – S-волны (от англ. second – второй) являются результатом реакции среды на изменение формы при изгибающих усилиях. При прохождении поперечных волн каждая частичка почвы колеблется перпендикулярно направлению распространения волны. S-волны распространяются только в твердой среде. Скорость их распространения составляет 3-4,5 км/с.

*Поверхностные* или *длинные волны L-волны* (от англ. long – длинный) – это третий вид волн, который возникает на границе раздела твердой и воздушной среды, т.е. на поверхности Земли в эпицентре. Среди поверхностных выделяют волны Рэлея и волны Лява, названные в честь ученых, разработавших математическую теорию их распространения. При прохождении волн Рэлея частицы пород описывают вертикальные эллипсы, перпендикулярные плоскости распространения волн. В волнах Лява с частицами пород происходят поперечные колебания в горизонтальной плоскости. Поверхностные волны распространяются во все стороны от эпицентра по поверхности Земли, затрагивая лишь самый верхний слой земной коры. Амплитуда их больше, чем у других, а скорость составляет 3–3,5 км/с. Поверхностные волны могут вызывать колебания земной поверхности высотой до одного метра. Именно они, в основном, раскачивают из стороны в сторону и вверх-вниз земную поверхность со всем, что на ней находится, приводя к наибольшим разрушениям.

При исследовании сейсмических волн особенно важна скорость их прохождения через различные горные породы. На разных расстояниях от гипоцентра и эпицентра приход волн регистрируется не одновременно. На этом свойстве основано определение координат эпицентра по записям прихода волн на сейсмические станции, расположенные на различных расстояниях от очага. Так, поверхностные волны распространяются медленнее и, следовательно, приходят в пункты наблюдения позднее. Поперечные волны распространяются в среднем в 1,75 раза медленнее, чем продольные. Поэтому оказавшиеся в области эпицентра сильного землетрясения люди подвергаются разновременному воздействию различных волн: их толкает, качает, трясет в разных направлениях с разными ускорениями. Бывали случаи, когда от подземных толчков люди подлетали так высоко, что, падая, разбивались насмерть. К счастью, такие мощные удары случаются редко.

Очевидцы нередко слышат землетрясения в буквальном смысле слова. Продольные сейсмические волны сходны со звуковыми волнами. При определенной частоте колебаний в диапазоне слышимости человека, то есть более 15 герц, они при выходе на поверхность преобразуются в звуковые волны и перед основной фазой землетрясения может быть слышен низкочастотный гул.

Землетрясения классифицируются в зависимости от глубины расположения их очага. Большинство землетрясений (поверхностные) происходит на глубине до 70-100 км от поверхности Земли, меньшая часть (промежуточные) – до 300 км. Но бывают глубокофокусные землетрясения, возникающие на очень большой глубине. Например, такое землетрясение с магнитудой 7,6 произошло в 1970 году в Колумбии на глубине 650 км. Иногда очаги землетрясения регистрируются и на большей глубине.

Максимальная глубина гипоцентров – 720 км зарегистрирована в Индонезии в 1933, 1934 и 1943 годах. Классификация землетрясений по глубине гипоцентра приведена в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2 – Классификация землетрясений по глубинам их возникновения

Наименование	Диапазон глубин	Процент от общего числа
Поверхностные	<100 км	51 %
Промежуточные	100–300 км	36 %
Глубокофокусные	300–720 км	13 %

Сила землетрясения на поверхности Земли в целом зависит от глубины очага: чем он ближе к поверхности Земли, тем сила землетрясения в эпицентре больше. Наибольшую опасность представляют землетрясения с очагами в пределах земной коры на глубине от 3 до 30–50 км.

В случаях, когда землетрясения (или мощные вулканические извержения) происходят под дном океанов, они вызывают гигантские морские волны, которые, достигая берегов, могут подниматься на очень большую высоту. Такие волны – цунами (от яп. «цу» – порт, «нами» – волна) часто приносят прибрежным районам катастрофические последствия. Высота волн в эпицентре достигает пяти метров, у берегов – до десяти, а в неблагоприятных по рельефу участках побережья – до 50 метров. Они могут распространяться со скоростью до 1000 км/час. Более 80 % цунами возникают на периферии Тихого океана. Реже, но не менее катастрофические цунами происходили и в Атлантике (Лиссабонское землетрясение 1755 года), в Индийском океане (землетрясение 2004 года).

Оценка силы землетрясений. Для оценки землетрясений в настоящее время наиболее распространенными являются шкала магнитуд (шкала Рихтера) и несколько шкал интенсивности (MSK-64 и другие).

*Магнитуда землетрясения* (от лат. *magnitudo* – величие, важность, значительность) – это величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Магнитуда является безразмерной величиной, пропорциональной логарифму отношения максимальных амплитуд определенного типа волн, измеренных сейсмографом при конкретном землетрясении, и амплитуд некоторого стандартного землетрясения. Существуют различия в методах определения магнитуд близких, удаленных, неглубоких и глубокофокусных землетрясений. Магнитуды, определенные для разных типов волн, отличаются по величине.

*Первоначальная шкала магнитуд* была разработана американским сейсмологом Чарльзом Рихтером в 1935 году, поэтому и называется шкалой Рихтера. Современная шкала Рихтера содержит условные единицы (от 1 до 9,5) – магнитуды, которые вычисляются по колебаниям, фиксируемым сейсмографами – приборами-самописцами для регистрации колебаний земли. Хотя шкала магнитуд в принципе не имеет верхнего предела, существуют физические пределы величины энергии, выделившейся в земной коре. В шкале Рихтера использован логарифмический масштаб, так что каждое целое значение в масштабе указывает на землетрясение, в десять раз большее по мощности, чем предыдущее. Поэтому землетрясение с магнитудой 6,0 по шкале Рихтера вызовет в 10 раз

более сильное колебание грунта, чем землетрясение с магнитудой 5,0; а с магнитудой 7,0 – в 100 раз сильнее, чем с магнитудой 5,0.

*Шкалы интенсивности землетрясений* основаны на внешних проявлениях подземных толчков – на основе данных о разрушениях, результатах воздействия на людей, предметы, здания и сооружения, природные объекты. В отличие от магнитуды землетрясения, выражающей количество сейсмической энергии, выделившейся в результате землетрясения, по шкале интенсивности определяют, насколько сильно воздействовало землетрясение на определенные объекты.

В разных странах принято несколько по-разному оценивать интенсивность землетрясения. В Японии принята 7-балльная шкала Японского метеорологического агентства – шкала Шиндо (Shindo); в США – 12-балльная модифицированная шкала Меркалли (ММ); в Европе, Украине, России и других странах СНГ до недавнего времени использовалась 12-балльная шкала Медведева–Шпонхойера–Карника (MSK-64). Все эти шкалы относятся к категории сейсмических шкал семейства Меркалли. Первоначальная шкала была названа по имени Джузеппе Меркалли, который заложил основы её использования в 1883 и 1902 годах. Для определения степени интенсивности землетрясения в ней используются римские цифры от I до XII. Она применяется для определения интенсивности землетрясения, когда отсутствуют прямые данные о силе подземных толчков, например, из-за отсутствия соответствующего оборудования.

Сейчас шкала Меркалли используется в основном в США. MSK-64 лежит в основе нормативных документов Украины «ШКАЛА СЕЙСМІЧНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ДСТУ Б В.1.1-28:2010», России и странах СНГ «Строительство в сейсмических районах СП 14.13330.2014». В странах ЕС с 1998 года применяется более современная Европейская макросейсмическая шкала (EMS-98) (табл. 2.3.3).

Таблица 2.3.3 – Шкала интенсивности землетрясений (EMS-98)

Балл	Сила землетрясения	Краткая характеристика
1	2	3
I	Неощутимое	Не ощущается людьми. Отмечается только сейсмическими приборами
II	Едва ощутимое	Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя на верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними животными
III	Слабое	Ощущается в помещениях некоторыми людьми. Находящиеся в покое в помещении люди ощущают раскачивание или легкое дрожание
IV	Широко наблюдаемое	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей

1	2	3
V	Сильное	Большинство ощущает землетрясение внутри здания, снаружи ощущается только некоторыми. Многие спящие просыпаются. Некоторые выбегают на улицу. Строения испытывают легкое сотрясение. Подвешенные предметы значительно качаются. Звенит посуда. Вибрации сильные. Объекты с высоко расположенным центром тяжести падают. Двери и окна открываются и закрываются
VI	Легкие повреждения	Подавляющее большинство людей ощущает землетрясение внутри зданий. Люди напуганы и выбегают прочь из здания. Маленькие предметы падают. Лёгкие повреждения у большинства обычных зданий; например, тонкие трещины в штукатурке, небольшие куски откалываются
VII	Повреждения	Подавляющее большинство людей выбегают из зданий. Мебель сдвигается, большинство предметов падает с полок. Многие здания умеренно повреждены: небольшие трещины в стенах; часть дымовых труб обрушивается
VIII	Тяжелые повреждения	Перевернутая мебель. Большинству зданий причинён значительный ущерб: дымовые трубы падают; большие трещины в стенах; некоторые здания могут частично разрушиться
IX	Разрушительное	Памятники и колонны падают. Многие здания частично разрушены, некоторые – полностью
X	Очень разрушительное	Большинство зданий полностью разрушено
XI	Опустошительное	Практически все здания полностью разрушены
XII	Полностью уничтожающее	Практически все наземные и подземные структуры очень сильно повреждены или разрушены

Шкалу магнитуд не следует путать со шкалой интенсивности землетрясения в баллах (по 12-балльной системе), которая основана на внешних проявлениях подземных толчков – результатах воздействия на людей, предметы, здания и сооружения, природные объекты. Когда происходит землетрясение, то сначала становится известной именно его магнитуда, которая определяется по сейсмограммам, а не интенсивность, которая выясняется только спустя некоторое время, после получения информации о последствиях. Примеры современного употребления терминов при оценке землетрясений приведены в таблице 2.3.4.



Таблица 2.3.4 – Употребление терминов при оценке землетрясений

Правильное употребление	Прежнее употребление	Неправильное употребление
«землетрясение магнитудой 6,0».	«землетрясение силой 6 баллов по шкале Рихтера»	«землетрясение магнитудой 6 баллов»; «землетрясение силой в 6 магнитуд по шкале Рихтера»
«землетрясение силой 6 баллов по шкале EMS-98 (или Меркалли, или MSK-64 и т.д.)		

Примерное соотношение магнитуд землетрясений с баллами по 12-балльной шкале приведено в таблице 2.3.5

Таблица 2.3.5 – Соотношение магнитуд и баллов землетрясений

Магнитуда по шкале Рихтера	Интенсивность по 12-балльной шкале
2,0 и меньше	I-II
3,0	III
4,0	IV-V
5,0	VI-VII
6,0	VIII
7,0	IX-X
8,0 и больше	XI-XII

На сегодняшний день самое сильное из зарегистрированных землетрясений произошло на юге Чили в провинции Антуко. Сначала 20 мая 1960 года случилось весьма сильное землетрясение с магнитудой 7,1, а через два дня – 22 мая – в этом же районе грянула катастрофа: магнитуда 9,5 по Рихтеру и максимальные 12 баллов по Меркалли.

*Вулканические землетрясения.* Активная вулканическая деятельность сопровождается взрывными выбросами огромных количеств пара и газов, что вызывает сейсмические и акустические колебания. Подъем высокотемпературной магмы из недр вулкана к поверхности сопровождается растрескиванием вышележащих горных пород, что, в свою очередь, также вызывает сейсмические и акустические эффекты. Эти движения приводят к сериям мелких землетрясений – «вулканическому дрожанию» и микро-землетрясениям. Как правило, они достаточно слабые, но наблюдения за ними иногда позволяют прогнозировать время начала извержения вулкана. Признаками вулканического землетрясения является совпадение его очага с местом нахождения вулкана и сравнительно не очень большая магнитуда.

Проявления вулканических землетрясений почти ничем не отличается от явлений, наблюдаемых при тектонических землетрясениях, однако их интенсивность, как правило, значительно меньше. Тем не менее, известны примеры весьма мощных землетрясений, сопровождавших вулканические извержения. Сильнейшее вулканическое землетрясение наблюдалось при извержении вулкана Кракатау в Индонезии в 1883 году. Тогда взрывом

была уничтожена половина вулкана, а сотрясения от него вызвали разрушения на островах Суматра, Ява и Борнео. Начало крупного извержения может сопровождаться сильным землетрясением, например, таким, как в Помпее при извержении Везувия в 79 г. н.э. Извержение вулкана Бандай-Сан в Японии в 1988 г. сопровождалось сильнейшим взрывом вулканических газов, раздробившим целую андезитовую гору высотой 670 м. На Камчатке постоянно происходят многочисленные вулканические землетрясения, связанные с активностью вулканов Ключевская Сопка, Шивелуч и других.

В целом землетрясения вулканического типа более слабые, чем тектонические, но продолжаются долго и многократно – недели и месяцы. Относительную опасность для людей такие землетрясения представляют в редких случаях.

#### *Обвальные (денудационные) землетрясения.*

Это небольшие землетрясения, возникающие в районах, где есть подземные пустоты или горные выработки. Их магнитуда обычно не превышает 5,0, и они значительно более редки – их доля не превышает 1 % от общего числа землетрясений. Непосредственная причина колебаний грунта заключается в обрушении кровли шахты или пещеры. Карстовые пещеры, полости выщелачивания образуются в том случае, когда подземные воды размывают и выносят легко- и среднерастворимые породы (залежи каменной соли, гипса, известняка, мела и др.), создавая пустоты. В дальнейшем кровля, потеряв опору, обваливается, тем самым вызывая небольшое землетрясение. Очевидно, что очаги таких землетрясений находятся на малой глубине и распространение сейсмических волн недалекое. Обычно площадь составляет десятки квадратных километров, хотя в 1915 году в Волчанской волости Харьковской губернии обвальное землетрясение охватило площадь диаметром до 100 км. В Харькове сотрясались дома, в них звенели стекла, открывались двери, качались лампы.

Обвальные землетрясения наблюдались вблизи Риги (в 1908 г.), в Эстонии, Карелии, на Северном Кавказе.

Разновидностью обвальных землетрясений, являются сейсмические явления, возникающие иногда при движении крупных оползней. Например, в результате гигантского оползня, образовавшегося 25 апреля 1974 г. на реке Мантаро в Перу, возникли сейсмические волны, эквивалентные тектоническому землетрясению умеренной силы.

Еще одна часто наблюдаемая разновидность этого явления – это так называемые «горные удары». Они случаются, когда напряжения, возникающие вокруг горной выработки, заставляют большие массы горных пород резко, со взрывом отделяться от забоя, возбуждая сейсмические волны. В 60-х годах прошлого столетия только в Донбассе почти на каждом втором угольном пласте происходило по одному – два внезапных выброса. Они происходят на шахтах Китая, Германии, Польши, России, Японии и других стран. Особенно часто они отмечаются в Южной Африке, где добыча платины и алмазов в настоящее время ведется на самых глубоких в мире шахтах – до 4,5 км.

#### *Техногенные (антропогенные) землетрясения.*

Эти землетрясения связаны с инженерно-строительной, военной деятельностью человека и добычей полезных ископаемых. Проводя подземные ядерные взрывы, извлекая из недр большое количество воды, нефти или газа, угля и других ископаемых, создавая крупные водохранилища, которые своим весом давят на земные недра можно вызвать сейсмические удары. Наведенная сейсмичность также может быть вызвана повышением

гидростатического давления при закачке жидкости в глубокие горизонты земной коры, при гидроразрыве пластов, в частности при добыче сланцевого газа.

Слабые, а иногда даже средней силы землетрясения могут быть вызваны при создании крупных водохранилищ. Накопление огромной массы воды в чаше водохранилища приводит к значительному увеличению гидростатического давления в породах.

Впервые подобное явление наблюдалось в 1935 году в штате Аризона, США, где была построена плотина и заполнено водохранилище Лейк-Мид (рис. 2.3.8). Его создание привело к превращению окружающей территории в район повышенной сейсмичности. После этого в течение ближайших 10 лет произошло около шестисот подземных толчков магнитудой до 5,0. Ранее в этом районе землетрясений не было.

Вероятность проявления наведенной сейсмичности возрастает с увеличением высоты плотины. Так, наведенную сейсмичность вызывали менее 1 % плотин высотой порядка первых десятков метров. При строительстве плотин высотой ~90 м – 10 %, а для плотин высотой более 140 метров – уже в 21% случаев увеличивалась сейсмичность.

Случаи возникновения достаточно сильных наведенных землетрясений с магнитудами до 5,0 известны при строительстве Асуанской плотины в Египте, плотин Койна в Индии, Кариба в Зимбабве; Нурекской, Токтогульской ГЭС в Таджикистане.

К повышению сейсмичности может также привести закачка жидкости в подземное пространство, этот способ широко используется при добыче нефти. Впервые негативный эффект был обнаружен вблизи Денвера в штате Колорадо, США, где в 1962 году в скважину, пробуренную в трещиноватых гранитах на глубину 3600 м, стали закачивать сточные воды. За 80 лет до этого здесь было отмечено только три слабых сейсмических события, за восемь последующих лет – 610 (!) Сейсмологи обнаружили, что частота слабых подземных толчков находится в прямой зависимости от объема закачанной жидкости.



Рисунок 2.3.8 – Водохранилище Лейк-Мид в штате Аризона, США. Фото (лицензия Creative Commons): Адам Бейке (99)

Вызвать подземные толчки может и откачка больших объемов жидкости или газа. Например, разработка Газлийского месторождения в Бухарской области Узбекистана спровоцировала сильнейшие землетрясения 8 апреля и 17 мая 1976 года. Их очаг был на глубине 20-25 км, магнитуды – 7,0 и 7,3, а сейсмический эффект в эпицентре достиг 9–10 баллов по шкале MSK-64. Следующий сильный подземный толчок с магнитудой 7,2 произошел 20 марта 1984 года в том же очаге, сместившись немного к западу. В результате этих землетрясений был практически полностью разрушен поселок нефтяников – Газли, расположенный в 30 км от эпицентра.

Землетрясения могут вызывать и подземные ядерные взрывы (рис. 2.3.9). Достоверный случай был зарегистрирован в 1968 году во время испытаний на полигоне в Неваде (США), когда магнитуда основного сейсмического сотрясения при взрыве составила 6,3, а после него последовала серия афтершоков – землетрясений с магнитудой до 5,0.



Рисунок 2.3.9 – Воронка на месте подземного ядерного взрыва 104-килотонного заряда 6 июля 1962 года. Фото любезно предоставлено управлением национальной ядерной безопасности администрации Невады (100)

Вероятность возникновения техногенных землетрясений, а также значительных смещений земной поверхности возрастает при неблагоприятном сочетании техногенных факторов и особенностей природных сейсмических условий. Это может привести к аварийным катастрофическим ситуациям, таким как разрывы газо- и нефтепроводов, выход из строя эксплуатационных скважин, разрушения жилых и производственных строений, гидротехнических сооружений. Колоссальный экономический ущерб от подобных аварий сопровождается не менее значительным экологическим ущербом.

*Сейсмическое районирование.* Землетрясения занимают одно из первых мест среди природных катастроф по своим разрушительным последствиям, числу жертв и



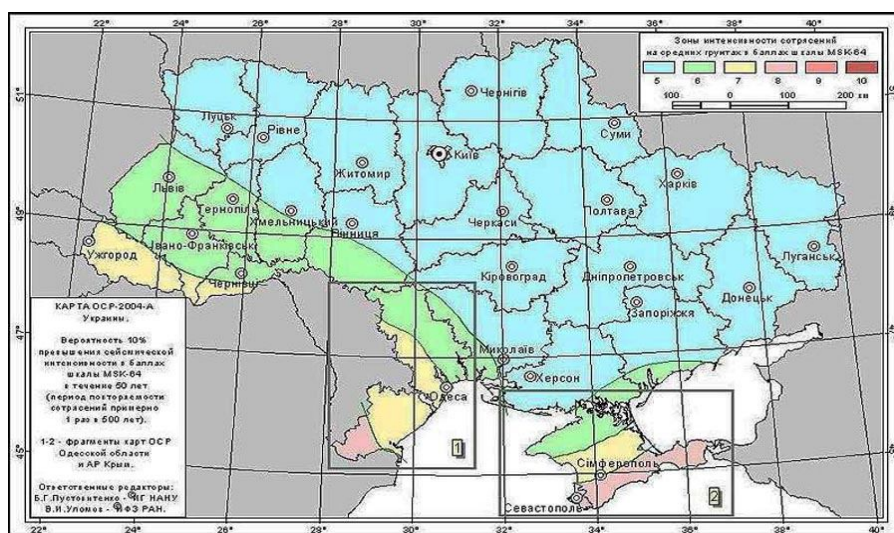
деструктивному воздействию на среду обитания человека. Предотвратить землетрясения невозможно, однако их разрушительные последствия и количество жертв могут быть уменьшены путем применения специальных норм сейсмостойкого строительства и проведения в сейсмоактивных районах мероприятий для повышения уровня осведомленности населения и органов власти об угрозе землетрясений и способах защиты от них. Сейсмическая опасность с каждым годом не уменьшается, а растет в прямой связи с хозяйственным освоением новых, в том числе сейсмоактивных территорий и интенсивным воздействием человека на литосферу Земли (строительство крупных гидротехнических сооружений, добыча полезных ископаемых и т.п.). Повышенный сейсмический риск связан также с размещением в сейсмоактивных регионах атомных электростанций и других экологически опасных объектов, поскольку даже незначительные землетрясения могут нарушить их нормальное функционирование. Разработка мероприятий по защите от землетрясений должна начинаться с создания достоверных карт сейсмического районирования.

*Сейсмическое районирование* – это деление территории на районы с разной степенью интенсивности ожидаемых землетрясений. Данные сейсмического районирования используются при проектировании, строительстве сейсмостойких сооружений и решении других практических задач на сейсмически опасной территории. Для составления карт сейсмического районирования используются исторические данные, инструментальные наблюдения по сейсмографам, геолого-тектонические и геофизические карты. Эффект землетрясений на поверхности Земли обычно выражают в баллах сейсмической шкалы. На картах сейсмического районирования выделяются зоны с прогнозируемой интенсивностью землетрясений, обычно от 5 до 10-12 баллов, в течение определенного периода времени. Карты общего сейсмического районирования Украины согласно ДБН В.1.1-12:2014 приведены на рисунке 2.3.10.

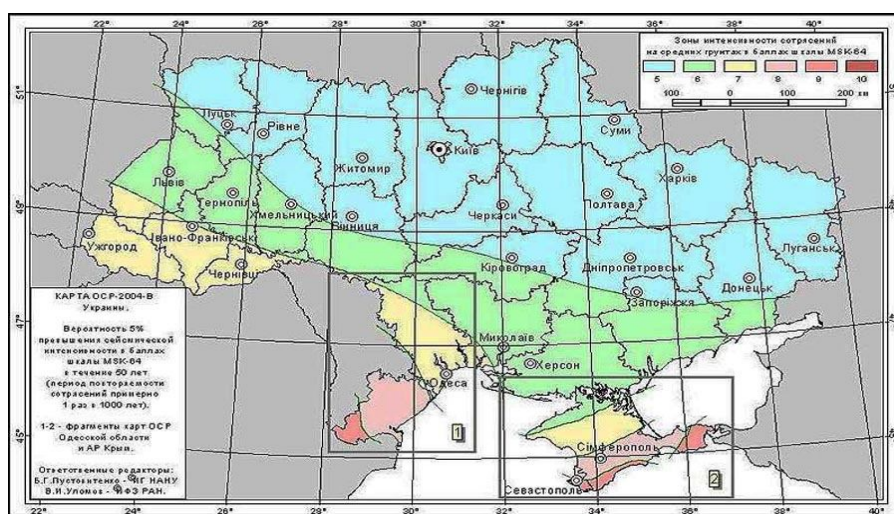
Исходя из приведенных карт видно, что большая часть Украины находится практически в асейсмичной (т.е. относительно безопасной в сейсмическом отношении) зоне, где интенсивность расчетного землетрясения не превышает 5 баллов в течение 500 лет. Наиболее сейсмоопасными являются южный берег Крыма, Керченский полуостров и юго-запад Одесской области.

Эффект проявления интенсивности землетрясений также сильно зависит от инженерно-геологических условий на конкретном участке и от соотношения собственных периодов колебаний сооружений с резонансными колебаниями грунта в основании. Эти особенности не учитываются на мелкомасштабных картах общего сейсмического районирования. Поэтому для городов и пунктов строительства отдельных ответственных сооружений составляются карты сейсмического микрорайонирования и вводятся поправки повышения или понижения расчетных баллов, в зависимости от грунтовых условий.

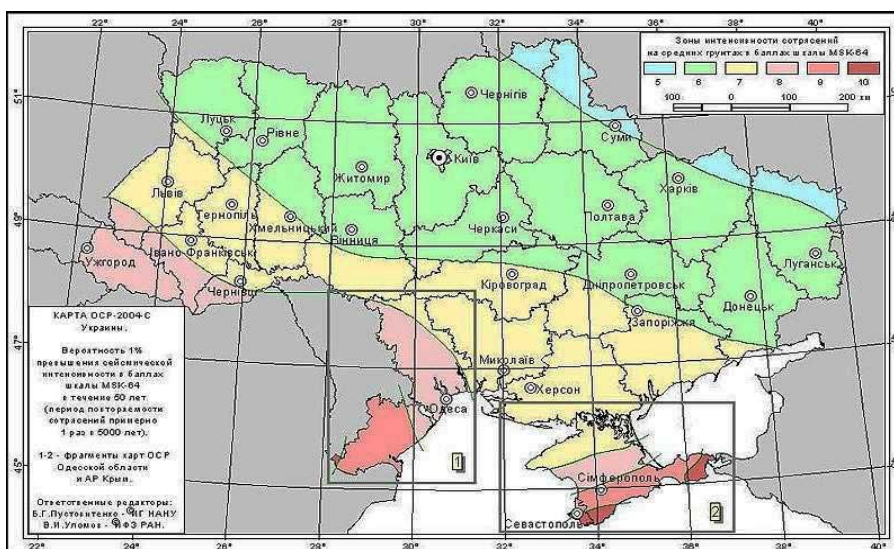
*Сейсмология* на сегодняшний день не может на 100 % спрогнозировать время возникновения сильного землетрясения. Поэтому самый надежный способ противостоять землетрясениям – это строить надежные сейсмостойчивые здания и сооружения.



а



б



в

Рисунок 2.3.10 – Карты общего сейсмического районирования Украины ОСР-2004. Период повторяемости сотрясений: а – 1 раз в 500 лет; б – 1 раз в 1000 лет; в – 1 раз в 5000 лет (101)

### Раздел 3. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА

*Экзогенные процессы* – это геологические процессы, происходящие за счет внешних по отношению к Земле источников энергии, к которым относится в первую очередь солнечное излучение в сочетании с гравитационными силами. Экзогенные процессы протекают на поверхности земной коры и вблизи нее в форме механического и физико-химического взаимодействия горных пород с гидросферой и атмосферой. К основным природным экзогенным процессам относятся: выветривание, геологическая деятельность ветра (коррозия, дефляция); процессы, происходящие на склонах (оползни, обвалы, сели и др.); деятельность текущих поверхностных и подземных вод (водная эрозия, суффозия, карст); деятельность вод морей и океанов (абразия), ледников (экзарация) и др.

Главные формы проявления экзогенных процессов на поверхности Земли – это разрушение горных пород при физическом, химическом и органическом выветривании; перенос разрыхлённых и растворенных продуктов разрушения горных пород гравитационными силами, водой, ветром и ледниками; отложение (аккумуляция) этих продуктов в виде осадков на суше или на дне водных бассейнов. Экзогенные процессы совместно с эндогенными процессами участвуют в формировании рельефа Земли.

Кроме природных процессов в формировании, а точнее в изменении земной коры и рельефа участвует человек. Особенно наглядно техногенные процессы наблюдаются при открытой добыче полезных ископаемых в карьерах, гидротехническом и дорожном строительстве, эксплуатации городов и промышленных центров, сельскохозяйственных и мелиоративных работах.

*Инженерная геодинамика* – это раздел инженерной геологии, изучающий механизм, стадии развития, локальные закономерности формирования природных и антропогенных геологических (инженерно-геологических) процессов в верхних горизонтах земной коры (литосферы) в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Особое внимание в инженерной геодинамике уделяется изучению геологических процессов, протекающих или могущих возникнуть в самых верхних приповерхностных горизонтах земной коры как в природной обстановке – естественные геологические процессы, так и на освоенных человеком территориях – инженерно-геологические антропогенные процессы. Данное направление инженерной геологии называют также «экзогеодинамикой». Этот термин был введен Г. К. Бондариком, 1981\*.

В этом разделе приведены сведения об основных экзогенных природных и техногенных инженерно-геологических процессах, которые оказывают непосредственное влияние на территории, здания, сооружения, инженерные коммуникации, а нередко могут представлять опасность для жизни и здоровья людей. Дана характеристика и приведены примеры этих процессов в различных районах Земли. Наибольшее внимание уделено процессам и явлениям, характерным для природных геологических условий Украины, в первую очередь, в соответствии с нормативными документами: ДБН В.1.1-24:2009 «Захист від небезпечних геологічних процесів»; ДБН В.1.1-3-97 «Защита от опасных геологических процессов. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения»; ДБН В.1.1-5-2000 «Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих

грунтах. Ч. 1. Будинки і споруди на підроблюваних територіях. Ч. 2. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах»; СП 11-105-97 Часть II. «Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

Таким образом, в разделе более подробно рассмотрены: суффозия, карст, склоновые процессы (обвалы, осыпи, оползни, сели, лавины и др.), ветровая и водная эрозия, абразия, пливуны, просадочность лёссовых грунтов; процессы на подрабатываемых территориях.

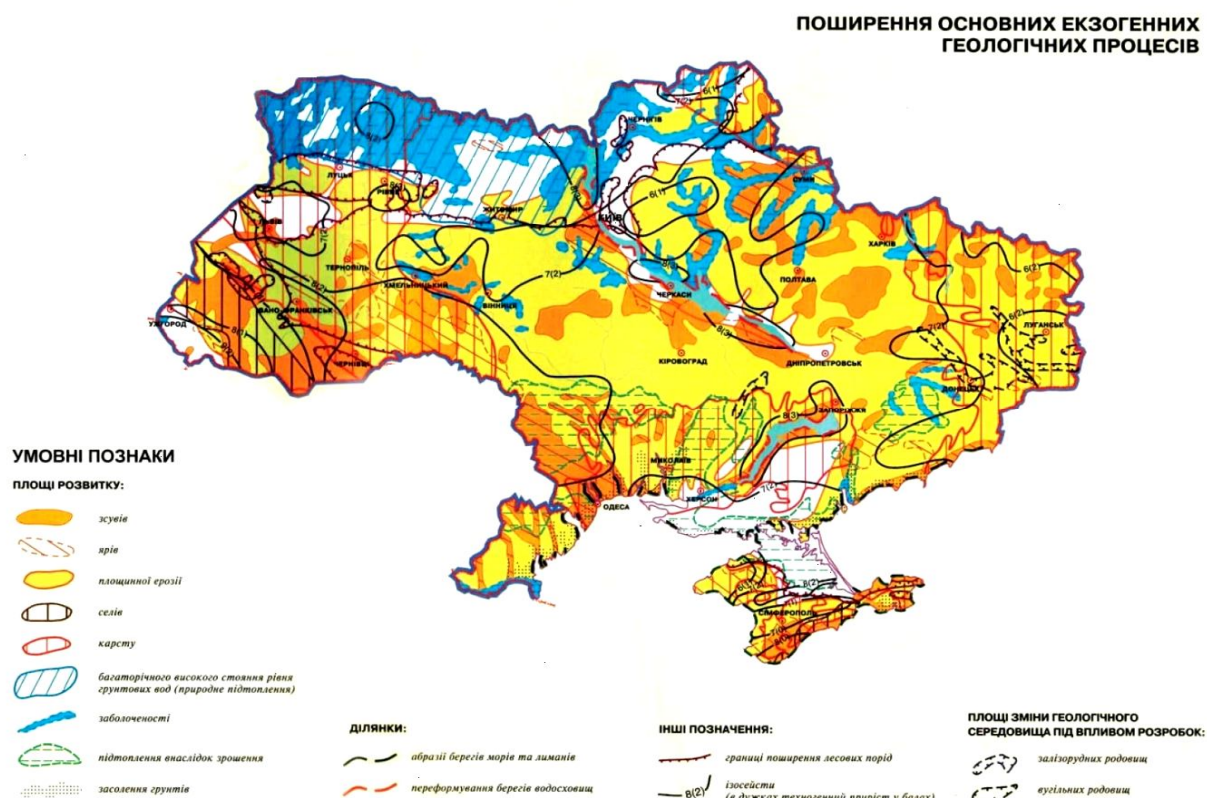


Рисунок 3.1.1 – Распространение основных экзогенных геологических процессов на территории Украины (102)



### 3.1 Суффозия

**Определение суффозии. Причины возникновения суффозионных процессов и их последствия. Меры по предотвращению суффозии**

*Суффозия* (от лат. suffosio – подкапывание) – это процесс вымывания и выноса мелких минеральных частиц из дисперсного грунта при фильтрации через него воды. Из неоднородных песков, а также крупнообломочных грунтов (гравийных, дресвяных, щебенистых, галечниковых и др.) могут вымываться наиболее мелкие частицы. Глинистые фракции размером  $<0,002$  мм, пылеватые (0,002-0,05 мм) и даже песчаные (0,05-2 мм) подхватываются потоком подземной воды и выносятся из грунтовой толщи. Нередко суффозия наблюдается в лёссовых грунтах, где движение воды происходит по макропорам и ходам землеройных животных.

Процесс суффозии близок к карстовому процессу, но отличается тем, что при суффозии происходит преимущественно механический вынос частиц грунта, которые не претерпевают разрушения. Реже наблюдаются химическая суффозия, при которой вода растворяет соли, содержащиеся в грунте ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ) и выносит продукты разрушения, а также смешанная – химико-физическая, которые происходят обычно в лёссах.

В естественных природных условиях суффозия развивается сравнительно медленно, в течение десятков лет (рис. 3.1.1), но под влиянием техногенных факторов её интенсивность может резко возрастать.



Рисунок 3.1.1 – Уникальное геологическое образование в Латвии – Рагану-Катлс (Ведьмин котел) (103)

Рагану-Катлс возникло в результате суффозии и эрозии песчаников на отвесном склоне долины р. Дауды. В результате природных процессов образовался воронкообразный врез глубиной 30 м и шириной 20 м, в котором активные процессы продолжаются и в настоящее время.

Серьезную опасность суффозионные явления представляют на участках сосредоточенной фильтрации вблизи плотин и водохранилищ (рис. 3.1.2). Неблагоприятные последствия могут возникать при откачках подземных вод из открытых горных выработок – карьеров, котлованов (рис. 3.1.3) и из подземных – шахт, тоннелей, а также из скважин систем водопонижения.

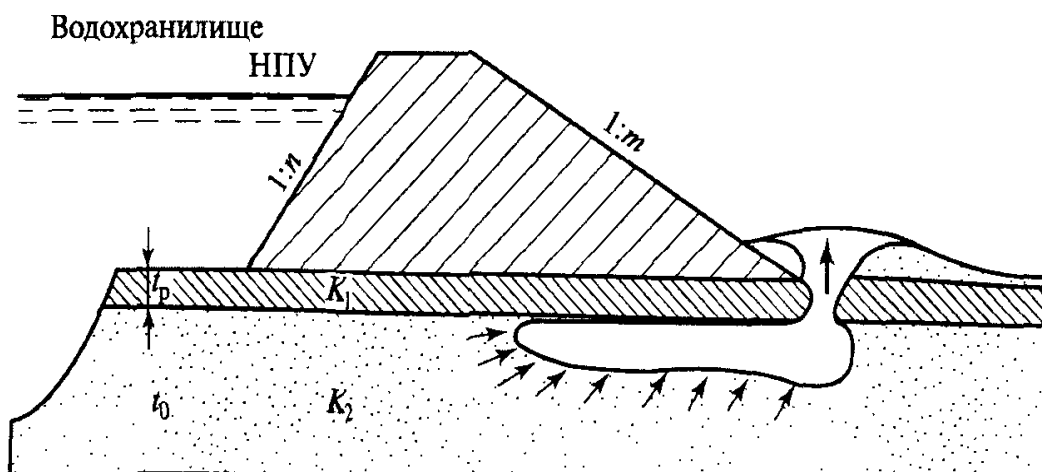


Рисунок 3.1.2 – Схема формирования суффозионной полости под насыпной плотиной (по М. Васичу) (104)



Рисунок 3.1.3 – Механическая суффозия пылеватого песка при поступлении грунтовых вод через зазоры свайного ограждения стенок котлована (105)



Суффозионному процессу способствуют:

- увеличение степени неоднородности гранулометрического состава грунтов;
- возрастание скорости движения подземных вод и перехода фильтрации из ламинарного в турбулентный режим, который возникает при гидравлическом градиенте фильтрационного потока  $I > 5$ ;
- наличие свободного пространства для разгрузки мелких частиц, переносимых потоками на поверхность земли или в естественные и искусственные полости.

Для ориентировочной оценки суффозионной опасности используют коэффициент неоднородности гранулометрического состава грунта (по З. Хазену), определяемый по формуле:  $C_u = d_{60}/d_{10}$ , где  $d_{60}$  и  $d_{10}$  – диаметры, соответствующие 60 и 10%-му содержанию фракций. Песчаные грунты разделяются на суффозионные –  $C_u > 20$ , переходные –  $C_u = 10-20$  и несуффозионные –  $C_u < 10$ .

Суффозия приводит к ослаблению грунтов и оседанию вышележащей грунтовой толщи с образованием на поверхности суффозионных воронок, блюдец, западин, провалов диаметром от одного метра вплоть до 100 метров и более; иногда возможно образование подземных полостей и пещер.

Суффозия вблизи поверхности земли наблюдается при временном или постоянном вымывании грунта на поверхность земли, а также в подземные канализационные коллекторы, смотровые колодцы (рис. 3.1.4); при аварийных порывах теплотрасс и водопровода. Суффозия в основании автодорог представляет большую опасность для автотранспорта, поскольку на поверхности сохраняется асфальтовое покрытие, под которым находится пустота (рис. 3.1.5, 3.1.6)



Рисунок 3.1.4 – Оседание поверхности земли из-за суффозии и выноса грунта в смотровой колодец (сквер Победы, г. Харьков) (106)



Рисунок 3.1.5 – Провал в г. Самара (107)



Рисунок 3.1.6 – Провал в г. Одесса (108)

Суффозия в основании автодорог представляет большую опасность для автотранспорта, поскольку на поверхности сохраняется асфальтовое покрытие, под которым находится пустота (рис. 1.3.7).





а



б



в

Рисунок 3.1.7 – Суффозионные провалы: (а, б, в), в г. Киеве (109)

В глубине массивов суффозия может развиваться в толще неоднородных по литологии грунтов; на контакте двух слоев, сложенных породами различного состава или водопроницаемости (рисунок 3.1.8);

неоднородном заполнителе трещин в грунтовом массиве, тектонических разрывных нарушений или карстовых полостей; на контакте природных грунтов и материала засыпок искусственных сооружений – фильтров, дренажей и др.

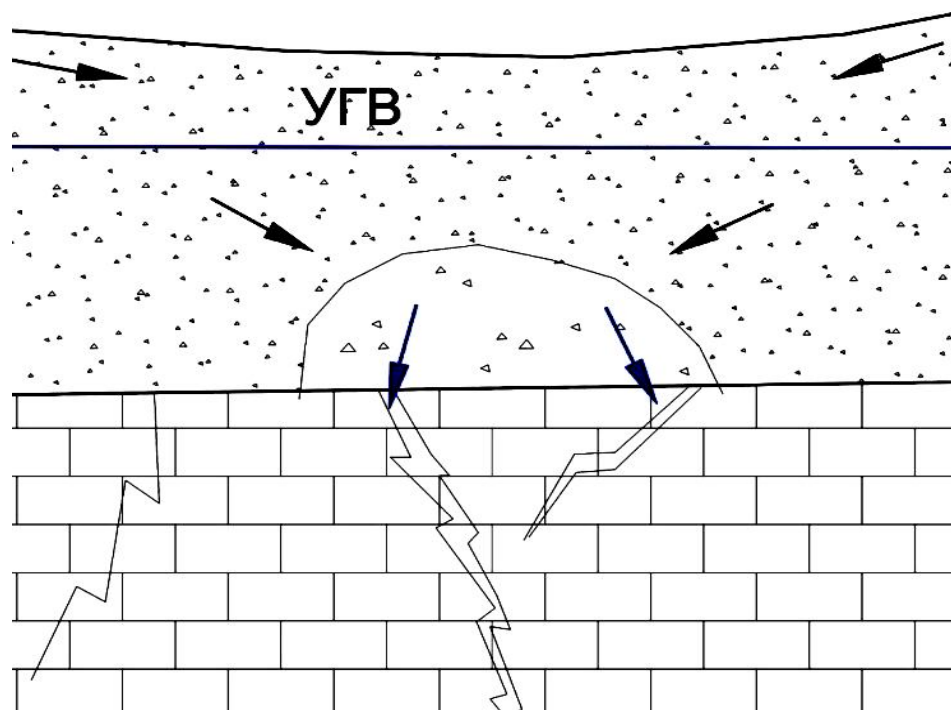


Рисунок 3.1.8 – Схема суффозии в глубине массива, при которой происходит вымывание частиц из вышележащего дисперсного грунта в нижележащий трещиноватый скальный грунт (110)

Разрыхление пород в связи с суффозией в нижней части природных склонов или искусственных откосов способствует образованию оползней. Суффозия в грунтах оснований зданий и сооружений может вызвать их деформации и разрушения из-за неравномерных осадок.

Основные принципы мероприятий по предотвращению механической суффозии:

- 1) прекращение движения воды через размываемый массив путем гидроизоляции поверхности земли, отвода поверхностного стока;
- 2) уменьшение скорости движения воды до безопасных величин меньших критической скорости фильтрации, путем устройства противofильтрационных завес и экранов;
- 3) перекрытие мест выхода подземных вод на поверхность земли грунтовой присыпкой (преимущественно песком);
- 4) искусственное закрепление ослабленных суффозией грунтов методами технической мелиорации (цементацией, глинизацией, битуминизацией и др.).

Так как в формировании суффозии ведущую роль играет фильтрация воды, основными инженерными средствами по защите территорий и отдельных зданий, и сооружений от суффозии являются различные дренажи для перехвата потока грунтовых вод. Это могут быть традиционные: горизонтальные, вертикальные, комбинированные (сочетающие элементы горизонтального и вертикального дренажа). Дренаж выполняется в виде системы горизонтальных дрен или скважин, колодцев с насосно-силовым оборудованием для принудительной откачки. В условиях плотной городской застройки эффективно применение специальных дренажей: пластовых, лучевых и др.



### 3.2 Карст

**Определение карста. Карстующиеся породы и рельеф. Природные карстовые пещеры. Негативные проявления карстовых процессов. Техногенный карст. Строительство в условиях карста**

*Карстом* называется комплекс явлений, связанных с деятельностью поверхностных и подземных вод и выражающихся в растворении горных пород и образовании в них пустот различного размера и формы. Для развития карста необходима значительная мощность карстующихся – относительно легкорастворимых водой пород и низкий уровень подземных вод. При карстовом процессе в местностях, сложенных такими породами, образуются своеобразные формы рельефа и уникальные природные образования (рис. 3.2.1).



Рисунок 3.2.1 – Водопад Баатара в «Пещере трех мостов» в Ливане. Вода падает с высоты 255 м. Пещера, предположительно существует с юрского периода (111)

В массивах, подверженных карсту образуются различные подземные ходы, полости, пещеры (рис. 3.2.3). А для поверхности земли характерны мелкие (глубиной 1-2 метра) борозды и углубления – карры; замкнутые понижения (воронки и блюдца), естественные колодцы и шахты, поля (котловины, имеющие площадь до нескольких десятков и даже сотен квадратных километров, с исчезающими водотоками), «слепые» овраги и долины, ниши в обрывах. В известняковом тропическом карсте распространены характерные останцы – моготе. Типичной карстовой формой являются воронки (конические, котло- и блюдцеобразные, либо ямы неправильной формы) диаметром от 1 до 200 м и более и глубиной от 0,5 до 50 м, а иногда значительно больше. На дне воронок и других понижений встречаются поглощающие воду отверстия – поноры, часто являющиеся началом шахт, колодцев или пропастей, иногда достигающих глубины более 1000 м. Котловины и воронки, могут то заполняться водой, то осушаться, образуя периодически исчезающие озёра.

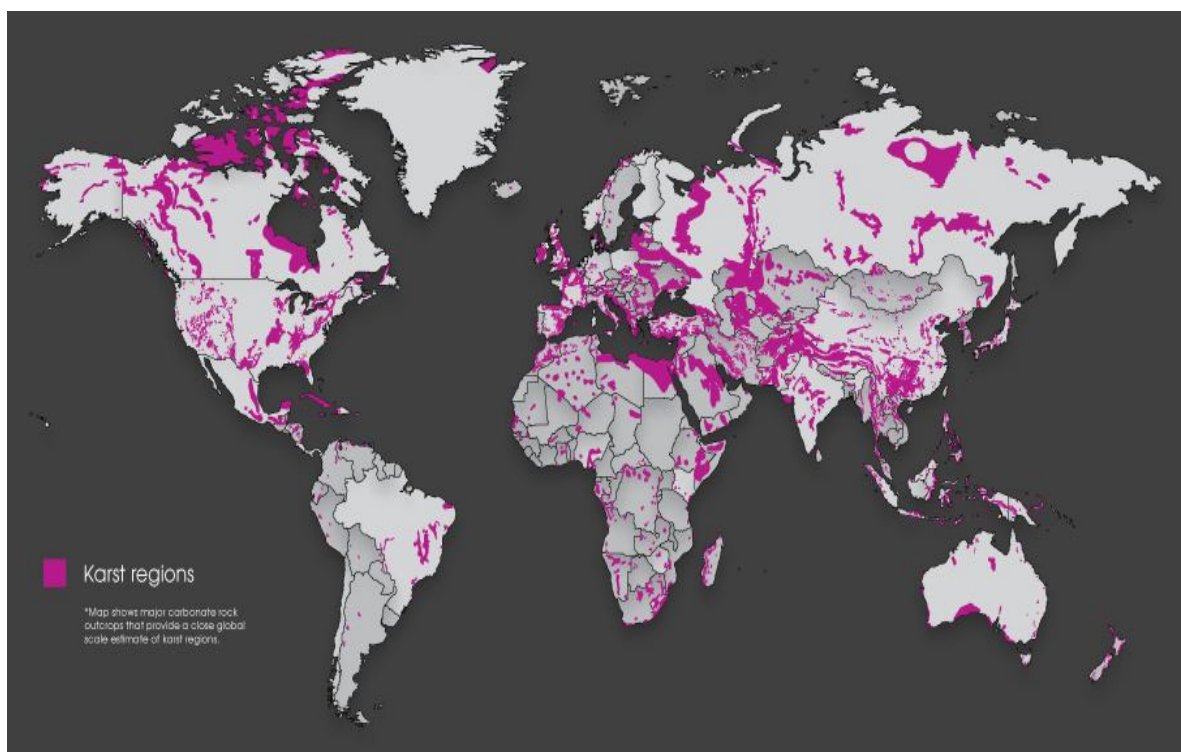


Рисунок 3.2.2 – Карта распространения известнякового карста на Земле (112)



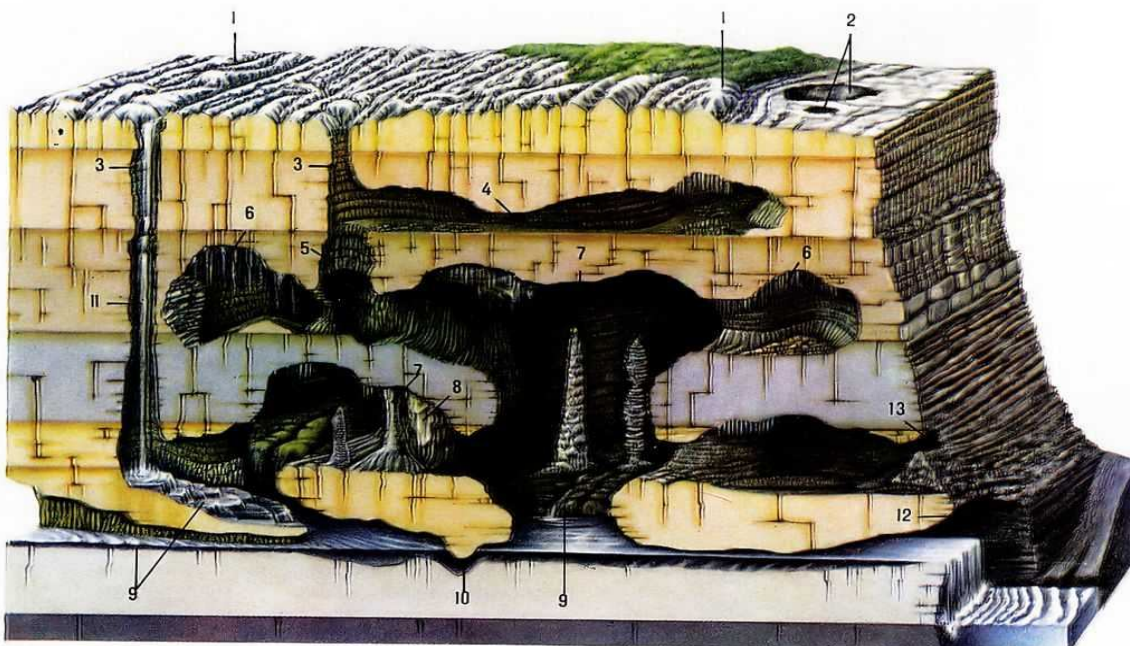


Рисунок 3.2.3. – Схема развития карстовых процессов в горном массиве (113): 1 – карры; 2 – воронки; 3 – естественные шахты и колодцы; 4 – пещерная галерея; 5 – вертикальная пещерная полость; 6 – сталактиты; 7 – сталагмиты и сталагнат (натёчная колонна); 8 – натёчные драпировки; 9 – подземные водотоки; 10 – сифон; 11 – подземный водопад; 12 – грот с карстовым источником типа воклюз; 13 – вход в пещерную систему на обрыве

По наличию рыхлых покровных отложений над карстующимися породами выделяют карст открытый (голый, средиземноморский, крымский) – лишенный почвенно-растительного покрова, (рис. 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6) и закрытый (задернованный, средневропейский, уральский) – с покровом из четвертичных отложений и почвы (рис.3.2.7).



Рисунок 3.2.4 – Открытый карст в известняках, Португалия (114)





Рисунок 3.2.5 – Карстовый рельеф, Греция (115)



Рисунок 3.2.6 – Известняковый «каменный лес» в районе Кунминг, Китай (116)



Рисунок 3.2.7 – Рельеф местности при развитии закрытого карста в районе Кунгурской ледяной пещеры, Пермская область, Россия (117)

### Природные карстовые пещеры

Самыми значительными подземными карстовыми формами являются пещеры, наибольшие из которых образуются в известняках, перекрытых сверху прочными нерастворимыми породами.

Самая крупная в мире пещера называется Мамонтова в Кентукки, США, с пещерной системой Флинт-Ридж (рис. 3.2.8). Её название возникло только из-за размеров: мамонтов там никогда не находили. На сегодняшний день спелеологи – исследователи пещер нанесли на карты 584 км (!) проходов, сделавших Мамонтову пещеру самой длинной в мире пещерной системой. Профессиональные исследователи по-прежнему открывают всё новые труднодоступные коридоры, составляют новые карты и, как часто говорят, «конца-края не видно».

Международной команде спелеологов удалось достичь максимальной глубины в августе 2012 г. Мировой рекорд глубины в природной пещере – 2196 м, достигнув ее дна, установил Геннадий Самохин из украинской команды. Самый большой в абхазской пещере колодец Большой Каскад опускается на 152 м (рис 3.2.9). Из пещеры Крубера-Воронья у подножия горного массива Арабика вытекает река Репруа, официально



считающаяся самой короткой в мире; она же самая холодная из рек, впадающих в Чёрное море. Репруа представляет собой мощный выход подземных карстовых вод, которые уже через 18 м вливаются в Черное море. Река берет начало на леднике на высокогорном плато Арабика на высоте 2500 м, в 12-15 км от морского побережья.

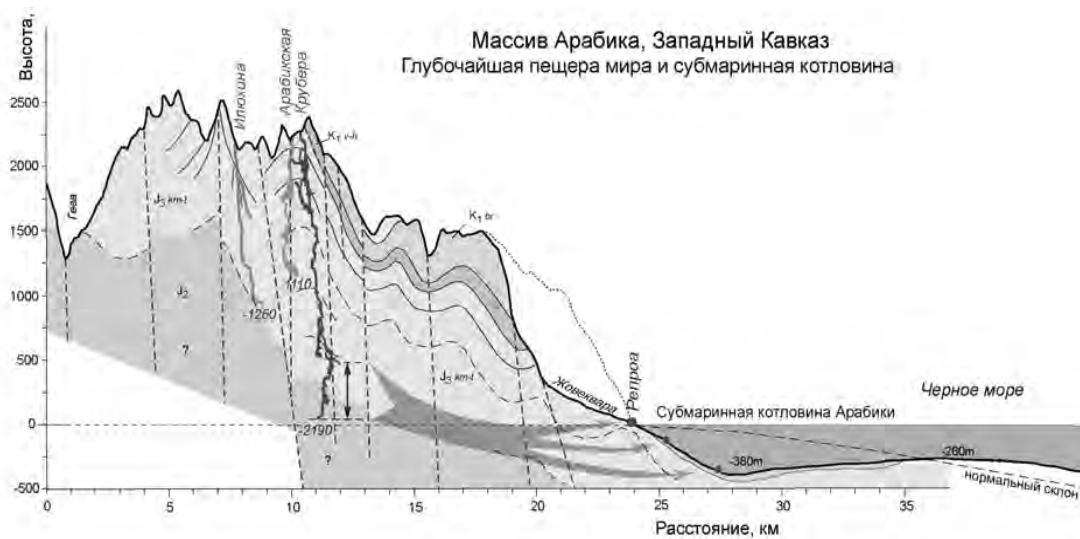


Рисунок 3.2.8 – Мамонтова пещера – самая протяженная в мире(118)

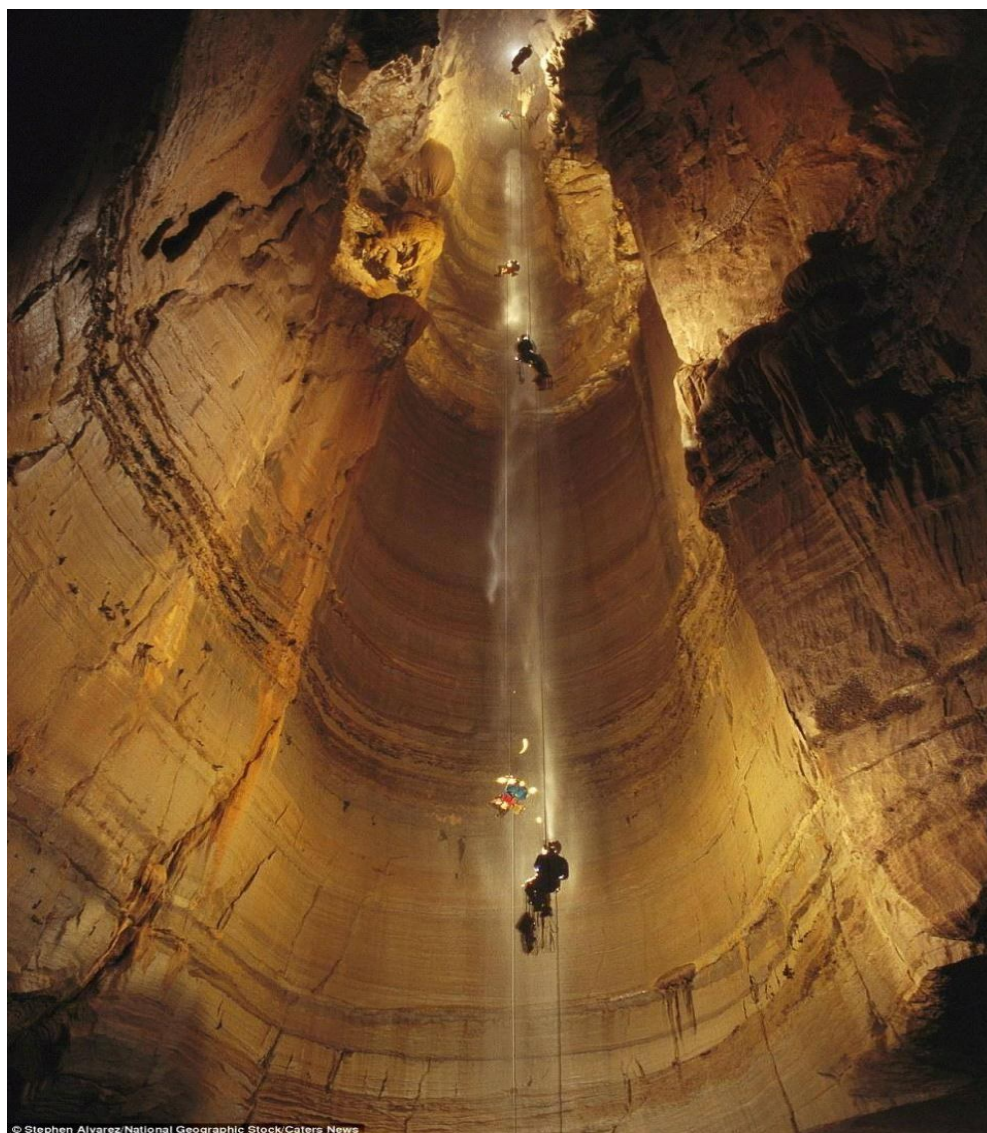
Самой глубокой в мире (на 2014 год) является пещера Крубера-Воронья в Абхазии. Тип пещеры – карстовая субвертикальная, нижняя часть ее сложена черными известняками. Месторасположение – горный массив Арабика Гагрского хребта Западного Кавказа.

В Украине в Тернопольской области расположена самая длинная в Евразии гипсовая пещера Оптимистическая. Глубиной всего лишь 20 м, она простирается на 216 км и представляет собой сложный лабиринт ходов, галерей и гротов, разной формы и размеров. Пещера образовалась в результате растворения подземными водами гипсов неогенового возраста (~ 14 млн лет). Гипс в верхней части пласта имеет темно-бурый цвет, а в нижней – желтовато-серый. На дне пещеры – глыбы гипса или глина, а стены многих подземных полостей покрыты сплошным ковром из вторичных натеков и кристаллов гипса, а также образований, похожих на кораллы, которые формировались в течение десятков тысяч лет (рис. 3.2.10). Нередко гипс наблюдается в виде отдельных друз больших белоснежных и прозрачных кристаллов.





а



б

Рисунок 3.2.9: а – Схема пещеры Крубера-Воронья, Абхазия; б – фотография колодца Большой Каскад (119)





Рисунок 3.2.10 – Пещера Оптимистическая – самая длинная на Евразийском материке гипсовая пещера (120)

Примерами гипсовых пещер также являются крупнейшая в России подводная пещера Ордынская (рис. 3.2.11) и Кунгурская ледяная пещера (рис. 3.2.12), расположенные в Пермской области. Лишь 300 из 1550 метров общей длины пещеры Ордынская – сухие ходы и залы, а 1250 м – это подводные галереи. Насколько впечатляют объёмы сухопутной части, например, грот «Кристалльный»  $\approx 30$  м длина, 15 м ширина, 8 м высота; грот «Ледяной дворец»  $30 \times 15 \times 7$  метров, настолько поразительны и подводные ходы Ордынской. В среднем, это галереи размером  $3 \times 2$  м, глубиной до 15 метров.





Рисунок 3.2.11 – Подводная пещера «Ордынская» (121)



Рисунок 3.2.12 – Кунгурская ледяная пещера (122)

В карстовых пещерах расположены многочисленные удивительные природные образования: огромные залы и провалы, гигантские сталактиты, сталагмиты и кристаллы, подземные водопады, озера и реки, каменные «грибы, цветы» и т.д. (рис. 3.2.13, 3.2.14, 3.2.15, 3.2.16).



Например, в пещере Авен Арман, Франция, несколько сотен уникальных сталагмитов, некоторые из них достигают 30 метров в высоту. Пещера Эллисона, США, Джорджия – темная пещера глубиной 180 метров – мечта для любителей скоростного спуска в земные недра – ровно 8 секунд нужно для свободного падения камня с поверхности до её дна.

*Лечугия* (от англ. Lechuguilla – название кактуса) – это одна из длиннейших пещер (222,5 км), глубочайшая на континентальной части США (489 м) и, вероятно, самая красивая в мире. Открытая только в 1986 году, она находится в центре исследований, проводимых спелеологами со всего мира. Пещера уникальна по своему происхождению и многообразию кристаллических и натечных минералов. Здесь обнаружили целые галереи самых причудливых образований, многие из которых, не встречаются больше нигде, например, гигантские гипсовые «люстры» размером до 6 м, натёки, по форме напоминающие волосы и бороды, многометровая солома из соды, пятиметровые конусы, обросшие кристаллами, гидромагнетитные шары, пещерный жемчуг. Кристаллы Лечугии заставили ученых-спелеологов исследовать происхождение пещеры. Оказалось, что известняк пещеры разъела серная кислота. Она съела, в буквальном смысле, километры пещеры. По мере того, как серная кислота растворяет известняк, откладывается гипс – основа фантастических интерьеров Лечугии. А на стенах пещеры открыли формы жизни, которая существует вне всякой зависимости от солнца. Оказалось, что бактерии экстремофилы питаются скальной породой.

Пещера Куэва-де-лос-Кристалес (пещера Кристаллов) в Мексике, была обнаружена при проведении буровых работ в 2000 году. Имеющая вулканическое происхождение пещера Кристаллов – это самое настоящее сверкающее чудо. Многие из кристаллов селенита возрастом около полумиллиона лет имеют размер до одного метра в ширину, а края их остры как лезвие бритвы. Температура в пещере может опускаться до 40 градусов мороза.



Рисунок. 3.2.13 – Пещера Кристаллов Мексика, с огромными кристаллами селенита (123)

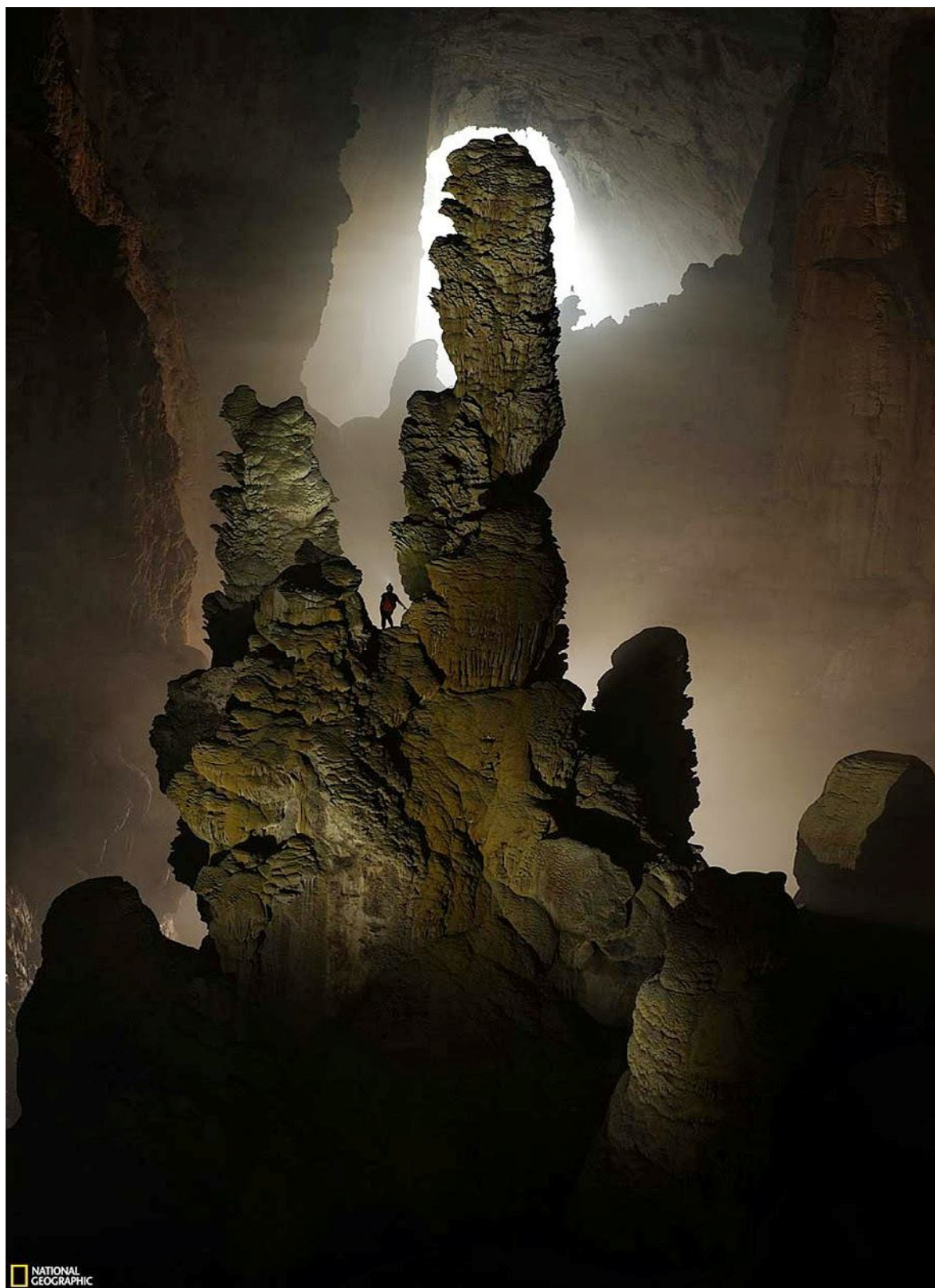


Рисунок 3.2.14 – Гигантский сталагмит «Рука собаки» в пещере (Hang Son Doong) во Вьетнаме (124)

Возможно, это самая большая пещерная система на Земле. Она настолько велика, что в ней с лёгкостью мог бы поместиться небоскрёб или целый городской квартал.



Удивительно, но такая огромная пещера была обнаружена всего лишь в 1991 году, а вплотную к её изучению приступили только в 2006 году



а



б



в



г



д

Рисунок 3.2.15 – Пещеры: а, б – Лечугия, США, Нью-Мексико; в – Мраморные, Чили; г – Авен Арман, Франция; д – пещера Эллисона, США, Джорджия (125)





а



б



в

Рисунок 3.2.16 – Пещеры (126): а – вход в пещеру Крубера-Воронья, Абхазия; б – Ледяная яма, Словения; в - пещера Айсризенвельт – самая большая ледяная пещера в мире (42 км), в земле Зальцбург в Австрии

### **Негативные проявления карстовых процессов. Техногенный карст**

В карстовых районах, которые занимают значительную часть суши Земли, происходили многочисленные случаи повреждения вплоть до разрушения зданий и сооружений от карстовых деформаций. Так, серьезные повреждения наблюдались в российских городах Уфе, Березниках, Москве, Нижнем Новгороде, Казани, Альметьевске и др. В ряде районов карстовые явления начались исключительно под влиянием хозяйственной деятельности (техногенный карст). Убытки, связанные с активизацией карстовых процессов в результате техногенного воздействия, значительно превосходят убытки от естественного природного карста.

Характерен следующий пример. 18 ноября 2014 г. в 3,5 км от города Соликамска, Пермская область, Россия, произошел провал грунта на территории дачного кооператива, провалились несколько дачных домиков и хозяйственных построек (рис. 3.2.17). Гигантская воронка размером 50×60 м образовалась в трех с половиной километрах от шахты «Соликамск-2». Согласно прогнозам, диаметр провала может превысить 200 метров.



Рисунок 3.2.17 – Карстовый провал в районе г. Соликамска (127)

Над калийными пластами в этом месте находится карналлитовая зона. А карналлит обладает повышенной гигроскопичностью (способностью поглощать водяные пары из воздуха), и высокой растворимостью; выше залегает тонкая прослойка каменной соли, а над ней – пласт нерастворимых горных пород толщиной 150–200 метров. Со временем грунтовые воды разрушили «защитный» слой и устремились вниз, постепенно размывая слой карналлита. Прошло около 20 лет, прежде чем воды добрались до выработанного подземного пространства.

В Украине потенциально опасные карстующиеся породы залегают под 67,3 % территории (рис. 3.2.18). Наибольшее распространение среди растворимых пород имеют карбонатные (известняки, мел), а на западе и востоке страны значительное распространение имеют сульфатные породы (гипсы) и галоидные (соли). Карст развит (кроме центра) в основных геоструктурных регионах Украины.

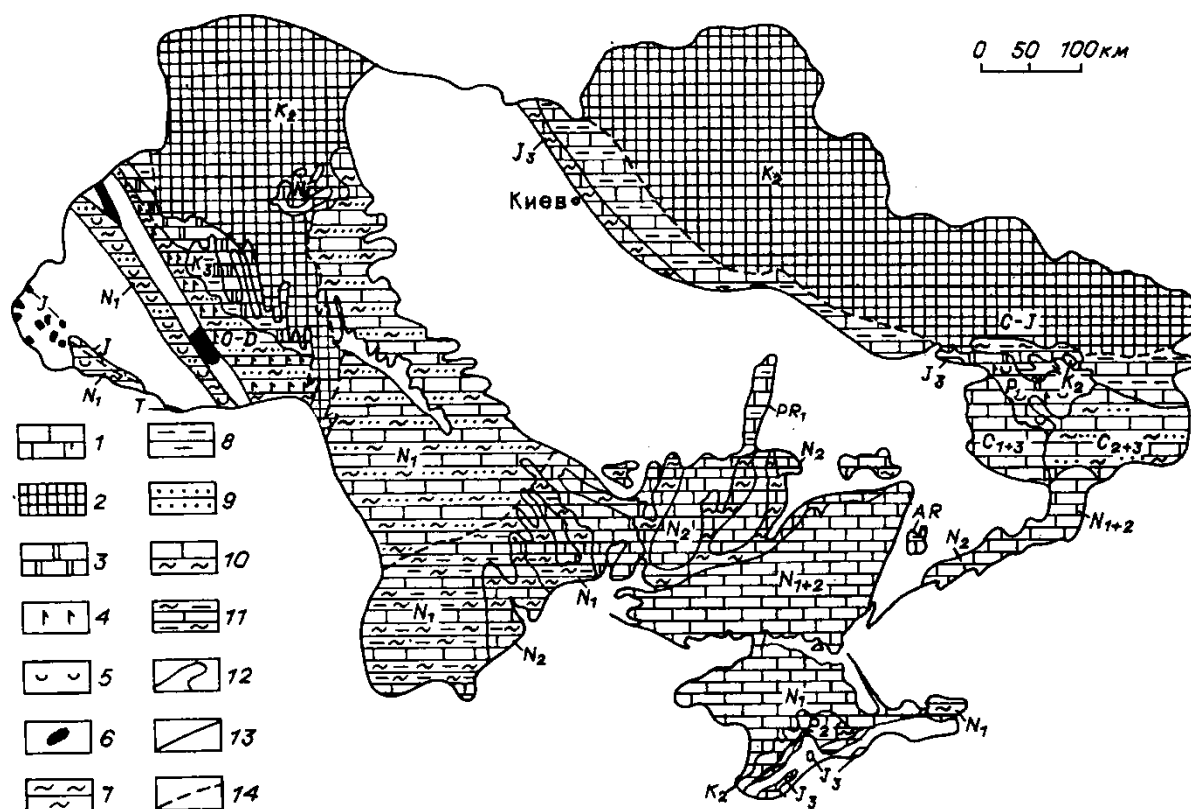


Рисунок 3.2. 18 – Распространение карстующихся пород в Украине (по В. Н. Дублянскому и Г. Н. Дублянской, 1992\*) (138): Карстующиеся породы: 1 – известняки, 2 – мел, 3 – карбонатные породы без разделения, 4 – гипсы и ангидриты, 5 – каменная и калийная соли, 6 – разновозрастные карбонатные породы фундамента. Некарстующиеся породы (среди карстующихся): 7 – глины, аргиллиты, 8 – мергели, 9 – пески, алевролиты, песчаники, 10 – переслаивание пород, 11 – прослои карстующихся пород, 12 – некарстующиеся породы. Границы: 13 – стратиграфические, 14 – литологические

В Украине известны случаи образования карстовых деформаций земной поверхности под действием техногенных факторов в Донецкой, Львовской, Ровенской и Закарпатской областях. Например, на рассолопромысле Новый Карфаген в Артемовском районе Донецкой области, где каменная соль с глубины ~ 200 м добывалась методом подземного растворения и откачкой рассола через буровые скважины. Через 20 лет после начала эксплуатации участка начались постепенные плавные оседания земной поверхности, изредка происходило фонтанирование рассола из скважин. На сегодняшний день максимальная глубина мульд оседания достигает 25 м (рис. 3.2.19). На дне скапливается пресная дождевая вода.



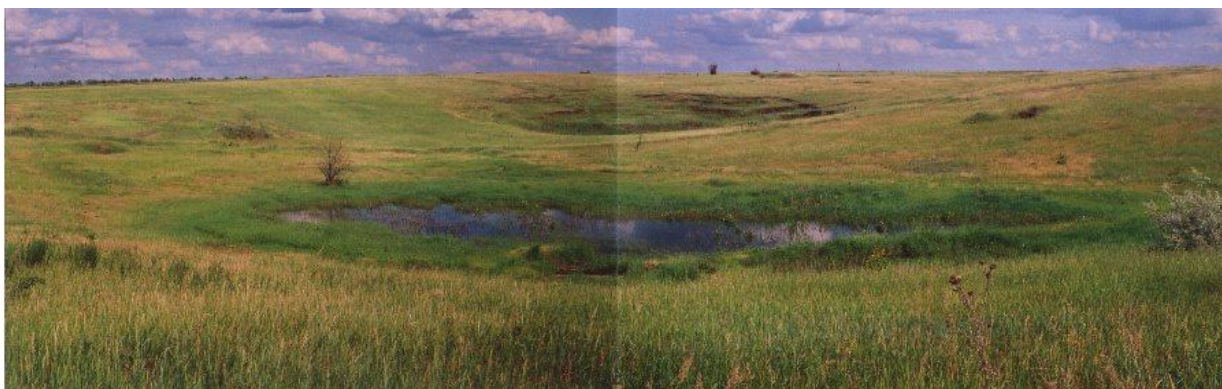


Рисунок 3.2.19 – Оседания земной поверхности на рассолопромысле Новый Карфаген, Донецкая область. Фото 2008 года (129)

В Солотвино, Закарпатской области в результате затопления шахтных выработок подземными водами образуются провалы на поверхности земли (рис. 3.2.20). Во время образования провала погибло несколько человек и уничтожено десятков домов. По словам местных жителей, примерно за 2 месяца в районе будущей трагедии ощущались подвижки грунта, а из-под земли слышался приглушенный гул.



Рисунок 3.2.20 – Один из техногенных карстовых провалов в Солотвино, Закарпатье (130)

Закарпатское Солотвино – зона техногенного экологического бедствия лиха. Специалисты предупреждают, что шахта будет затоплена за 2-3 года, если не выполнить комплекс радикальных мероприятий. Но значительно раньше приостановит свое существование расположенная здесь уникальная аллергологическая больница. Некоторые современные примеры карстовых провалов на застроенных территориях приведены на рис. 3.2.21.



а



б



в



г

Рисунок 3.2.21 – Карстовые провалы (131): а – разрушение отеля во Флориде, США; б – карстовая воронка площадью около 600 м<sup>2</sup> и глубиной 20 м в немецком городе Шмалькальден, образовавшаяся 1 ноября 2010 года; в – в марте 2007 года в итальянском городе Галлиполи дорога рухнула в находившуюся под ней сеть подземных пещер; г – Гватемала: гигантский провал глубиной 150, диаметром 20 метров

Некоторые техногенные провалы со временем продолжают увеличиваться как в диаметре, так и в глубину, поглощая все новые здания, сооружения, железные дороги. Характерным примером в этом отношении является серия провалов в городе Березники, Пермская область, Россия (рис. 3.2.22).

Двадцать восьмого июля 2007 г. в промзоне предприятия «Уралкалий» образовался провал, размером 50х70 м и глубиной 15 м. Это был второй, следующий после первого, довольно «старого», провала 1986 года из серии березниковских провалов. Он выглядит на фотографии не таким и большим, но, тем не менее, здание рядом с ним – административно-бытовой корпус фабрики технической соли – это трёхэтажное здание.





а



б



в



г



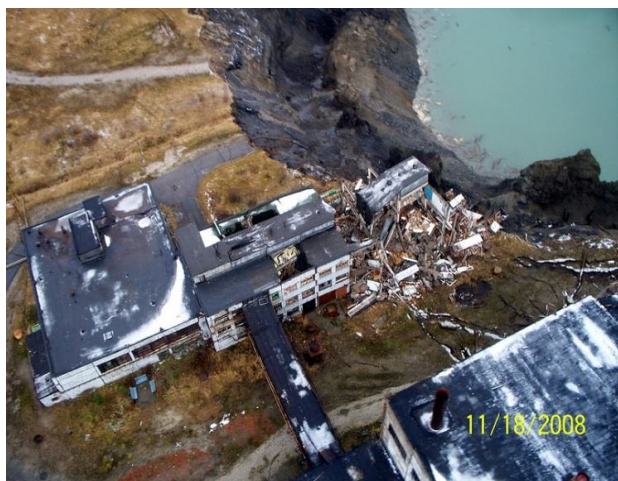
д



е

Рисунок 3.2.22 – Хроника провалов в Березниках (132): а – 28 июля 2007 г. Образование провала 50\*70 м и глубиной 15 м; б – 22 августа 2007 г.; – 1 ноября 2007 г. Провал продолжает расти и углубляться; г – 3 ноября 2007 г. Калийный парк и старые главные ж/д пути уходят под землю; д – 10 сентября 2008 г.; е - 18 ноября 2008 г. Фабрика технической соли сползает в провал





Ж



И



К



Л

ж – 11 ноября 2008 г. В провале продолжает прибывать вода; и – продолжающееся разрушение фабрики; к – Апрель 2009. Вода заполняет чашу провала целиком и выплёскивается наружу, затопляя прилегающую территорию. Процесс затопления провала завершён, он стабилизируется и почти перестаёт расти. Его размер – 380х360 метров, глубина образовавшегося озера 102 м.

В течение 2010-11 гг. появляются, пока небольшие, третий и четвертый провалы; л – провал-2 выглядит как обычное озеро, только на берегу «почему-то» развалины фабрики. Декабрь 2012. Появляется новая зона ускоренных оседаний в шестистах метрах к востоку от провала-2, там возможен очередной, уже пятый по счёту провал.





М



Н



О

м – образуется связка 3 и 4 провалов. Земля между провалами просела, из-за чего вода постепенно затопляет местность; н – провалы 3-4, на заднем плане солеотвал первого рудника. На бортах провалов здания, уходящие под воду: о – состояние провала-2 на август 2014 г.

## Строительство в условиях карста

Основная опасность карста для зданий и инженерных сооружений заключается в образовании провалов, основными источниками которых в большинстве случаев являются карстовые полости. Следовательно, прогнозирование карстоопасности должно заключаться в обнаружении в толще пород пустот, определении их пространственных характеристик; оценке возможности образования провалов поверхности земли, их вероятных размеров; прогнозе срока службы сооружения.

Для расчета устойчивости зданий, сооружений и проектирования мероприятий по обеспечению их инженерной защиты необходимы сведения о современном состоянии карстового процесса на строительной площадке или трассе линейных сооружений. Требуется достаточно точное для инженерных целей оконтуривание всех карстовых пустот, провалов, подземных ходов и т.п., а не случайное их нахождение при проходке буровых скважин.

Наиболее эффективная защита зданий и сооружений от влияния карста может быть достигнута при применении комплекса противокарстовых мероприятий, как в проектно-изыскательский, так и в строительный, а также эксплуатационный периоды. Прежде всего, на участках с повышенной опасностью карста необходимо рациональное размещение объектов вне зоны возможных провалов.

Деформации оснований зданий и сооружений карстово-суффозионного происхождения наступают по закону редких событий (распределение Пуассона), то есть время и место опасного проявления карста носят вероятностный характер. Поэтому основной задачей конструктивной защиты от карста является предупреждение катастрофического разрушения зданий и сооружений при образовании в их основании деформаций в течение определенного срока, позволяющего принять меры по эвакуации людей и ценного оборудования, а также по прекращению прогрессирующего разрушения.

Важнейшими задачами исследований в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в карстовых районах являются следующие:

- оценка возможности градостроительного или агропромышленного освоения карстоопасных территорий в различных природных условиях;
- защита от инфильтрации в грунты атмосферных, хозяйственно-бытовых и производственных вод, особенно для объектов с большими объемами водопотребления (атомные и тепловые электростанции, предприятия химической промышленности и т.п.);
- техническая мелиорация горных пород, подверженных карстово-суффозионным процессам, в том числе заполнение карстовых полостей цементным, силикатным, битумным наполнителем с учётом влияния такого тампонажа на соседние участки;
- расчет конструкций зданий и сооружений с рассмотрением основания, фундаментов и наземных конструкций как единого целого;
- обеспечение сохранности зданий и сооружений при образовании карстовых деформаций в их основании.



### 3.3 Склоны и виды склоновых процессов

**Определение и классификация склонов. Природные и искусственные склоны. Некоторые виды склоновых движений грунтовых масс: обвалы, осыпи, курумы, оплывины, солифлюкция**

*Склоны* – это наклонные участки земной поверхности, ограничивающие различные эндогенные или экзогенные формы рельефа, образованные в результате действия природных процессов формирования рельефа или инженерно-хозяйственной деятельности человека. На суше они занимают до 70-80% площади поверхности Земли и могут иметь разную форму – прямые, выпуклые, вогнутые, ступенчатые, бугристые и др. В целом рельеф земной поверхности состоит из сочетания практически горизонтальных поверхностей и склонов.

Склоны классифицируются по углу наклона поверхности: очень крутые –  $>35^\circ$ ; крутые –  $15-35^\circ$ ; средней крутизны –  $8-15^\circ$ ; пологие –  $4-8^\circ$ ; очень пологие –  $2-4^\circ$ . По протяженности склоны бывают: длинные – более 500 м; средней длины – 500-50 м; короткие – менее 50 м.

*Природные склоны* имеют эндогенное или экзогенное происхождение. Склоны эндогенного происхождения образуются в результате тектонических движений земной коры, землетрясений, магматизма, вулканизма, в том числе склоны грязевых вулканов. Среди склонов экзогенного происхождения выделяют склоны, созданные поверхностными текучими водами, деятельностью морей, озер, ледников, ветра, подземных вод, мерзлотных процессов. К этой же группе относятся склоны, созданные в результате деятельности организмов, например, коралловые рифы. Иногда склоны могут быть созданы в результате совокупного действия двух или нескольких как эндогенных, так и экзогенных факторов.

В соответствии с ДБН В.1.1-3-97 «Защита от опасных геологических процессов», на территории Украины по морфометрическим признакам (высота, крутизна, конфигурация), а также геологическому строению, составу и свойствам слагающих пород, гидрогеологическим и гидрологическим условиям, характеру, силе, интенсивности внешних воздействий выделяются три основные группы природных склонов: 1.) склоны побережий морей и лиманов; 2.) склоны речных долин равнинной части; 3.) склоны горных областей.

Склоны не остаются неизменными, а преобразуются под воздействием целого ряда процессов, называемых склоновыми. По особенностям этих процессов С. С. Воскресенский выделяет следующие типы природных склонов:

1. Склоны собственно гравитационные, с углом наклона поверхности  $35-40^\circ$  и более. На них обломки, образующиеся в результате выветривания, под действием силы тяжести скатываются к подножию склонов. Это – обвальные, осыпные и лавинные склоны (рис. 3.3.1).

2. Склоны блоковых движений образуются при смещении вниз по склону блоков горных пород разных размеров. Этому способствуют в значительной мере подземные воды, хотя роль гравитации остается решающей. Крутизна склонов составляет  $20-40^\circ$ . К ним относятся оползневые склоны различных типов (рис. 3.3.2).

3. Склоны пластичного смещения грунта. Характер смещения грунта зависит от его консистенции, происходит на склонах крутизной от 3 до 40°. К ним относятся преимущественно склоны медленной солифлюкции (рис 3.3.3).

4. Склоны делювиальные (плоскостного смыва). Делювиальные процессы зависят от ряда факторов, и в первую очередь от состояния поверхности склонов. Они наблюдаются и на крутых и на очень пологих (2-3°) склонах (рис 3.3.4).



Рисунок 3.3.1 – Типичный гравитационный осыпной склон высокогорной зоны Тянь-Шаня (133)



Рисунок 3.3.2 – Оползневой склон с многоярусным оползнем, Красноярский край (134)



Рисунок 3.3.3 – Солифлюкционные склоновые образования на высоте ~ 2300 м в национальном парке Швейцарии (135)





Рисунок 3.3.4 – Делювиальный склон. Балочные четвертичные отложения, Харьковская область (136)

Кроме природных естественных склонов, в настоящее время существует большое количество техногенных искусственных склонов, созданных в результате инженерно-хозяйственной деятельности. Наибольшие из них приурочены к отрицательным формам рельефа – рудникам и карьерам для добычи различных полезных ископаемых (рис. 3.3.5, 3.3.6).



Рисунок 3.3.5 – Один из наиболее глубоких карьеров мира по добыче алмазов, который располагается в городе Мирный, Якутия, на кимберлитовой трубке "Мир", имеет глубину более 500 метров и диаметр более 1 километра (137)





Рисунок. 3.3.6 – Алмазный карьер Дьявик, Канада, расположенный на искусственных островах (138)

К положительным формам рельефа, созданным человеком, к сожалению, относятся преимущественно различные отходы горнорудной промышленности в виде терриконов, отвалов, искусственных гор, шламонакопителей и т.д. (рис. 3.3.7, 3.3.8, 3.3.9). Эти образования нередко представляют серьезную экологическую опасность.



Рисунок 3.3.7 – Вид террикона в Loos-en-Gohelle, Франция, самого высокого в Европе – 186 м (139)



Рисунок 3.3.8 – Самый радиоактивный террикон Донецка – это циклопический отвал Чумаковской ЦОФ, расположен на крайнем юге города (140)

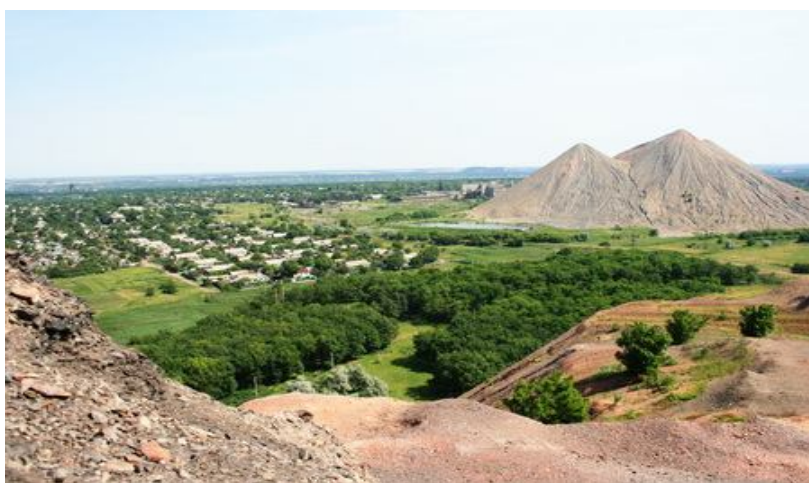


Рисунок 3.3.9 – Конгломерат из трех терриконов, принадлежащих шахте им. Челюскинцев. Один из них достигает высоты 121 метр (141)

Кроме того, во многих местах природные склоны преобразованы человеком путем создания горизонтальных террас для различных, в частности сельскохозяйственных целей (рис. 3.3.10, 3.3.11).



Рисунок 3.3.10 – Рисовые террасы Банауэ, Филиппины (142)



Это террасы возрастом ~ 2000 лет, которые были построены на горе Ифугао предками коренных жителей островов. Террасы упоминаются филиппинцами как «Восьмое чудо света». Считается, что террасы были построены в основном вручную с минимальным оборудованием. Они расположены на высоте ~1500 метров над уровнем моря и покрывают 10,36 км<sup>2</sup> склона горы. Местные жители до сих пор выращивают рис и овощи на террасах. В результате происходит постепенная эрозия склонов, которые нуждаются в постоянной реконструкции и заботе.



Рисунок 3.3.11 – Террасы на юго-востоке Китая (143)

### Склоновые процессы

Как на природных, так и на искусственных склонах, могут происходить опасные инженерно-геологические процессы, часто связанные с гидрометеорологическими явлениями, которые оказывают отрицательное воздействие на территории, народнохозяйственные объекты и жизнедеятельность людей (обвалы, оползни, оплывины, селевые потоки, снежные лавины и др.) и требуют существенных затрат для их предотвращения или защиты от них.

*Обвал* – это разновидность гравитационного перемещения грунтовых масс – отрыв массива пород от склона и быстрое перемещение вниз с падением, опрокидыванием и дроблением (рис. 3.3.12). Чаще всего обвалы возникают в горах, на склонах речных долин и берегах морей, а также в строительных котлованах, траншеях, карьерах. Выделяют множество типов обвалов: скальные и земляные, горные (в том числе камнепады и осыпи), береговые, различные смешанные – обвал-сброс, обвал-обрушение, оползень-обвал и др. Схемы основных разновидностей приведены на рис. 3.3.13. Общей причиной образования обвалов является превышение сдвигающей составляющей силы тяжести над удерживающими силами.





Рисунок 3.3.12 – Обвал в Скалистых горах, США (144)

Засыпало highway и идущую параллельно железную дорогу. Зона обвала составила 100 м дороги, а мощность до 10 м. Размер камней – от небольшого автомобиля до небольшого дома.

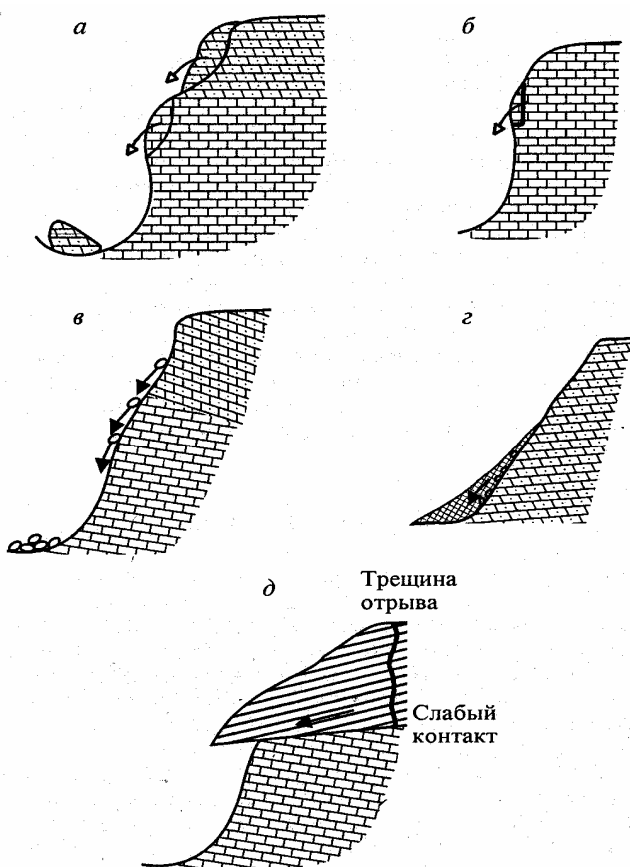


Рисунок. 3.3.13 – Схемы различных видов гравитационных смещений грунтов на склонах (145):  
а – обвал; б – вывал;  
в – камнепад; г – осыпь;  
д – оползень-обвал

Обвалы происходят на крутых склонах (более  $45^\circ$ ) из-за потери сцепления с основным массивом в результате роста трещин отрыва из-за выветривания или потери устойчивости основания, например, из-за абразии или эрозии у подножия склона. Наиболее крупные обвалы связаны, в первую очередь, с землетрясениями. Продвижение крупных обвалов на значительные расстояния (до 7-12 км), в том числе иногда даже вверх по противоположному склону, объясняется огромной кинетической энергией, накопленной обвальными массами, и малым трением у движущихся пород. К подобному уменьшению трения приводит захват фронтальной частью обвала массы воздуха, который, сжавшись, превращается в своеобразную воздушную подушку, а также может создать мощную ударную волну, разрушительное действие которой иногда даже сильнее, чем действие обвальных масс.

Обвалы небольших масс пород, состоящих из обломков размером менее  $1 \text{ м}^3$  называются камнепады. Одной из разновидностей обвалов также являются вывалы – обрушение отдельных глыб из отвесных склонов, которые падают свободно, не скользя по склону. Чаще всего вывалы происходят в породах с ярко выраженной слоистостью. Обвалы, камнепады, осыпи и снежные лавины производят основную денудационную (разрушительную) работу в горах.

В природных условиях иногда происходят гигантские обвалы, в результате которых обрушиваются миллионы кубометров пород. Так, в результате землетрясения 18 февраля 1911 года крупнейший обвал-оползень объёмом 2,2 млрд  $\text{м}^3$  произошёл на Памире на реке Мургаб, Таджикистан. Образовалась естественная плотина высотой 567 м и Сарезское озеро. В настоящее время длина озера составляет 55,8 км, максимальная глубина 505 м, объём  $16 \text{ км}^3$  (рис. 3.3.14).



Рисунок 3.3.14 – Плотина, образовавшаяся в результате гравитационного смещения пород и перекрывшая долину реки Мургаб. Справа – Сарезское озеро (146)

С конца 60-х годов прошлого века специалисты говорят о Сарезском озере как о гигантской мине замедленного действия. Они обнаружили и изучили два опасных фактора, которые могут привести к катастрофическим последствиям. Первый из факторов – это фильтрация сквозь тело плотины, сопровождающаяся суффозией. Идет процесс, постоянного вымывания грунта из завала. Образуются пустоты, что приводит к оседанию плотины и понижению ее высоты. Сквозь эти пустоты возможно образование прорана и стремительный прорыв воды из озера. Главную же угрозу представляет обнаруженный в 1967 году огромный, соразмерный с объемом самой плотины, неустойчивый массив, нависший над озером на одном из склонов. Сейсмический удар может обрушить в Сарезское озеро миллиарды тонн горных пород, как это уже было при его возникновении. Вызванная при этом гигантская волна, по разным оценкам, будет иметь высоту от 100 до 250 метров. Она разрушит стену завала, который сегодня возвышается над поверхностью озера в среднем на 50 метров. Последующий за этим перелив довершит разрушение плотины. Огромный грязекаменный вал со скоростью более 80 километров в час пронесется по руслу реки, выйдет далеко за пределы реки Пяндж, ворвется в русло Амударьи и через несколько дней достигнет Аральского моря. В зоне стихийного бедствия окажутся около шести миллионов человек. Нарушатся водозаборы питьевой воды, будут затоплены сотни кладбищ, в воду попадут нефтепродукты и токсичные вещества. Потоки воды смоят минные поля вдоль таджикско-афганской границы, и смертоносные заряды будут разбросаны на обширном пространстве.

Еще более грандиозные обвалы имели место в Альпах (до 15 км<sup>3</sup>). Обвалы в горах часто приводят к перегораживанию речных долин и образованию озер в любом высокогорном районе мира. Таково происхождение озера Рица на Кавказе в Абхазии, озера Иссык-Куль в Киргизии и множества других.

В Украине обвалы зарегистрированы в горных районах Карпат и Крыма, а также на территории Запорожской, Кировоградской, Одесской, Тернопольской и Черниговской областей.

*Защитные мероприятия при обвалах.* Предотвращение и инженерная защита от крупных и грандиозных обвалов в большинстве случаев мало реальна. На участках, где возможны крупные обвалы, строительство обычно не производится.

Борьба с малыми обвалами заключается в предупреждении их возникновения и осуществлению защитных мероприятий. Для предупреждения малых обвалов одним из наиболее распространенных способов, является искусственное обрушение нависающих глыб при помощи взрывов малой мощности или путем забивки клиньев в трещины породы. «Клинование» позволяет откалывать отдельные куски породы и значительно безопаснее взрывного способа, т.к. неверно рассчитанный по силе взрыв может сам вызвать крупный обвал.

Наиболее часто защищают автомобильные и железные дороги от малых обвалов и осыпей путем строительства защитных и вспомогательных сооружений, к которым относятся:

— Противообвальные стены способные выдержать удары глыб, с рвами на склоне и у полотна дороги для аккумуляции скатывающихся обломков;



— Различные валы и стены, направляющие сход обвальных масс, планировка поверхности и устройства валов, играющих роль трамплина для обеспечения переброски обвальных масс через полотно дороги;

— Бетонные мощные стены с контрфорсами для поддержания потенциально опасных блоков пород в сочетании с их укреплением анкерами или скобами; защитные галереи с надежными перекрытиями, обычно полуоткрытых конструкций (рис. 3.3.15);

— Торкретирование бетоном поверхности выветривающихся пород осыпающегося откоса;

— Установка металлических сеток, предохраняющих от камнепадов и осыпания обломков на дорогу; регулярное удаление со склонов неустойчивых глыб;

— Дренажные сооружения при выходах на склоне подземных вод.

Для предупреждения обвалов в строительных выемках и котлованах производят облицовку откосов, ставят подпорные щиты и временные шпунтовые стенки. Не следует перегружать края выемок и подрезать склоны, а также оставлять котлованы открытыми на длительное время, особенно в период дождей; необходимо предусмотреть отвод поверхностных вод.



Рисунок 3.3.15 – Защитные галереи и стенки на Байкало-Амурской магистрали (147)

*Осыпи* образуются на крутых склонах, особенно в горах, сложенных скальными породами, где активно действуют процессы физического выветривания. Породы разрушаются, а продукты разрушения – обломки скатываются вниз к местам с более пологими склонами. Так, у подножья склонов накапливаются продукты осыпания –

глыбы, щебень, дресва, и представляющие собой осыпи. Мощность осыпей различна и колеблется от нескольких до десятков метров. В состав осыпей входят обломки тех горных пород, которые слагают склоны. Так, массивные кристаллические породы дают крупнообломочные (глыбовые) осыпи. Менее прочные породы образуют среднеобломочные (щебенистые) и мелкообломочные (гравийно-дресвяные) осыпи. Метаморфические сланцы и осадочные породы (известняки, мергели, песчаники) порождают осыпи, состоящие из обломков различных размеров и определенной формы, например, плитчатой.

Характерной особенностью осыпей является их способность к движению. В соответствии с этим признаком осыпи подразделяют: действующие (находящиеся в стадии интенсивного движения), затухающие и неподвижные.

Действующие осыпи лишены всякой растительности. Масса обломков находится врыхлом, весьма неустойчивом положении и приходит в движение за счет увеличения общего веса при поступлении нового материала, сильном увлажнении, при подрезке нижней части осыпи, от землетрясений и даже от более мелких сотрясений, возникающих при работе каких-либо машин, движении транспорта или даже отдельных людей.



Рисунок 3.3.16 – Осыпи из обломков доломита, Южный Тироль, Италия (148)

Угол естественного откоса грунтового материала зависит от его крупности. В сухом состоянии крупно- и среднеобломочный материал имеет средний угол откоса  $\varphi = 35-37^\circ$ , а мелкообломочный –  $30-32^\circ$ . Значение угла откоса осыпи связано с крутизной склонов, количеством поступающего материала и его насыщенности водой.

Отношение угла поверхности осыпи  $\alpha$  к углу естественного откоса  $\varphi$  обломочного материала называется коэффициент подвижности осыпи:

$$K = \alpha/\varphi.$$

По величине  $K$  осыпи разделяют на 4 типа:

- подвижные (живые),  $K \geq 1,0$ ;
- достаточно подвижные, без признаков затухания,  $K = 0,7-1,0$ ;
- малоподвижные, затухающие, имеющие слабое поступление нового материала,  $K = 0,5-0,7$ ;
- относительно неподвижные, уплотнившиеся, поступление нового материала не наблюдается,  $K < 0,5$ .

«Живые» осыпи характерны для склонов круче  $65^\circ$ , достаточно подвижные осыпи имеют крутизну от  $45^\circ$  до  $65^\circ$ . Для затухающих осыпей свойственно развитие растительности (кустарники, слабый дерновый слой). Неподвижные осыпи полностью задернованы, покрыты кустарником и даже лесом.

Особую разновидность осыпей представляют осовы. Это явление возникает при насыщении осыпи водой. При смачивании массы обломков уменьшается угол естественного откоса, увеличивается общий вес, уменьшается трение скольжения, и вся масса осыпи сползает по смоченной поверхности склона. Движение осыпи такого типа может начаться даже если по ней пройдет человек. Поэтому в горах очень опасно передвигаться по осыпным склонам.

*Борьба с осыпями.* Осыпи значительно осложняют строительство: обломочный материал засыпает дороги, сооружения, полезные площади. Для решения вопроса о защите сооружений от осыпей очень важно знать скорость их движения, которую обычно определяют путем длительных наблюдений. С небольшими щебеночными осыпями борьба ведется простым способом, которая сводится к удалению обломочного материала, расположенного выше сооружения по склону. Этот способ достаточно трудоемок и применяется при особой значимости сооружений.

Из инженерных защитных сооружений применяют улавливающие траншеи и подпорные стенки, устраивают козырьки или сетки над дорогами. В особо опасных местах, где развиты мощные медленно сползающие осыпи, устраивают галереи и тоннели для дорог. При борьбе с осовами применяют методы осушения, особенно в тех случаях, когда источник замачивания располагается в верхней части склона. На особо опасных участках организуют службу наблюдения.

Осыпи дресвяно-щебенистого состава часто применяют как хороший естественный строительный материал, для отсыпки дорог, заполнитель бетона и т.д.

*Курумы.* Это каменные россыпи крупных валунов и глыб, которые скапливаются у пологих склонов, в ложбинах и долинах, причем крутизна склонов меньше угла естественного откоса грубообломочного материала (от  $3^\circ$  до  $35\text{--}40^\circ$ ). Иногда может образоваться единая масса глыб от вершины горы до подошвы склона – каменный плащ. Мощность каменных россыпей колеблется от 1-2 метров в верхней части склонов до 15 метров на дне долин.

Для курумов характерной особенностью является их передвижение. Движение курумов связано с совместным действием гравитационных сил и процесса попеременного замерзания воды с образованием льда, и оттаивания в пустотах между обломками. Масса огромных глыб постоянно ползет вниз по склону, поскольку они лежат на глинистом слое, который периодически переувлажняется при таянии льда и каменные глыбы и валуны скользят по нему. Курум, движущийся по ложбинам, называется *каменным потоком или каменной рекой* (рис. 3.3.17). Скорость его движения относительно небольшая – от нескольких сантиметров до нескольких метров в год.

Курумы встречаются в тех же горных районах, что и осыпи, но особенно значительно их распространение в областях вечной мерзлоты и районах с резко-континентальным климатом (Аляска, Восточная Сибирь, Северный Урал, Алтай, Саяны и т. д.).





Рисунок 3.3.17 – Курум – медленно движущаяся каменная река из глыб (149)

Курумы подразделяют на действующие и остановившиеся. В первом случае курумы – очень неустойчивы. Пустоты между глыбами не заполнены каким-либо материалом, а растительность отсутствует. В остановившихся курумах никаких следов движения нет; россыпь задернована и покрыта мхом и растительностью.

*Защитные мероприятия.* Курумы при своем движении разрушают дороги, трубопроводы и другие сооружения, засыпают выемки и полезные площади. Легче всего остановить движение отдельных глыб, но значительно труднее удержать всю массу курума, занимающего большую площадь и особенно там, где есть выходы подземных вод. Часто в борьбе с курумами используют взрывные работы, но гораздо целесообразнее останавливать курумы путем осушения их глинистой основы. Для этого в верхней части склона отводят ручьи, перехватывают поверхностные воды нагорными канавами, иногда используют дренажи. В районе подвижных курумов трассы дорог следует переносить на другие склоны, а в случае невозможности, их иногда прокладывают в тоннелях или галереях под курумами.

*Оплывины* представляют собой мелкие блоковые смещения грунта делювиальных и элювиальных отложений под действием силы тяжести вниз по склону, при которых может сохраняться даже дёрн почвенно-растительного слоя (рис. 3.3.18). Особенно подвержены оплывинам лёссовые грунты. Возникают они обычно на ровных задернованных, а особенно незадернованных склонах, на откосах автодорог и железнодорожных насыпей и т.п. Обычно оплывание развивается по поверхности достаточно плотных относительно водоупорных грунтов, причём движением захватывается только верхняя толща на глубину всего лишь 0,3 – 1,0 (редко до 1,5) м. В отличие от оползней, оплывание

происходит постепенно. Причиной возникновения оплывин служит избыточное увлажнение верхнего слоя грунта талыми, дождевыми или грунтовыми водами и его переход в текуче-пластичное и текучее (грязеподобное) состояние.

Морфологически оплывинные склоны отличаются от других типов склонов ступенчатостью. На склонах, где часто выпасают скот, оплывание возникает и без особо сильного увлажнения даже при туго-пластичном состоянии грунта, а иногда и на сыпучих грунтах, скрепленных на поверхности дёрном.

Возникновению оплывин хорошо препятствует корневая система древесной растительности. Поэтому для предупреждения оплывания на склоны высаживают кустарники или деревья. Иногда выполняют террасирование склонов, а в особых случаях (например, возле мостов) укрепляют их поверхность бетонными плитами.



Рисунок 3.3.18 – Оплывина, Н. Новгород (150)

*Солифлю́кция* (от лат. *solum* – почва и *fluctio* – течение) – это вязкопластичное смещение грунта, перенасыщенного водой по подстилающей мёрзлой поверхности склона, сцементированного льдом (рис. 3.3.19). Солифлюкция широко распространена в зонах вечной мёрзлоты или на территориях с длительно и сильно промерзающими грунтами (Сибирь, Канада, высокогорные районы). Почвенно-грунтовой покров насыщается влагой от тающего снега или дождей, значительно увеличивает вес, становится вязкопластичным и начинает двигаться даже при очень малых уклонах в 2-3° по не оттаявшей скользкой поверхности мерзлого подстилающего слоя, ускоряясь при увеличении уклонов. При этом возникают наплывы, невысокие гряды и целые солифлюкционные террасы даже на весьма пологих склонах с древостоем (рис. 3.3.19).





Рисунок 3.3.19 – Проявления солифлюкции – каменная гряда и наклоненные деревья, Горный Алтай (151)

### 3.4 Оползни

**Внешний вид оползневых склонов. Основные элементы оползня. Классификации и причины образования оползней. Методы борьбы с оползнями. Устройство стенок карьеров в нескальных грунтах.**

*Оползень* – это скользящее смещение грунтовых масс вниз по склону без потери контакта между смещающейся массой и неподвижной частью склона, которое происходит под действием силы тяжести и, как правило, при участии подземных или поверхностных вод.

Оползни широко распространены по всему миру: в горах (преимущественно на высотах 1000–1700 м), на склонах долин рек, в том числе равнинных, в бортах оврагов и балок, на побережьях морей. Кроме того, они часто возникают в откосах котлованов,



карьеров, других искусственных выемок. Оползни имеют громадное негативное значение для строительства, так как часто являются причиной разрушения зданий, сооружений, железных и автомобильных дорог, несчастных случаев при устройстве строительных котлованов и карьерной разработке полезных ископаемых. Например, в горных районах Средней Азии риск схода оползней или обвалов есть практически везде. Южный берег Крыма – это почти сплошные оползневые массивы, ежегодно разрушающие шоссейные дороги (рис. 3.4.1), угрожающие жилым и промышленным зданиям.



Рисунок 3.4.1 – Дорога в поселок с характерным названием Оползневое, Крым (152)

На территории Украины проявления оползневых процессов зарегистрированы абсолютно во всех областях. Например, крупнейшие оползни развиваются в Одессе, где обнаружены подвижки грунтов, которые захватывают почти всю прибрежную территорию города. Здесь образуются преимущественно оползни с валом выдавливания на подводной отмели. Инструментальные геодезические измерения показывают, что сдвиги и оседание поверхности земли в западной части города составляет 1-2 мм/год, а вблизи морского порта достигает 3-6 мм/год.

Днепропетровску тоже «не повезло» с геологией. Правобережная часть города сплошь состоит из возвышенностей и 36 балок. Треть территории города – это лёссовые грунты, которые в своем естественном, сухом состоянии относительно надежны и держат почти вертикальные склоны. Но стоит им начать впитывать влагу из-за избыточных

атмосферных осадков или аварийных утечек из водных коммуникаций, и лёссовый грунт начинает сползать вниз. В список самых оползнеопасных районов Днепропетровска входят Тополь, Сокол, Рыбальская, Тоннельная, Красноповстанческая балки.

Известно много катастрофических оползней с огромным материальным ущербом и жертвами. Защита от оползней на протяжении многих веков является одной из серьезнейших проблем человечества.

Оползни могут происходить на склонах различной крутизны, но на глинистых грунтах они случаются и при очень малой крутизне склона – всего лишь 5-7°. Для этого достаточно избыточного увлажнения. В общем случае, чем круче склон, тем значительнее составляющая силы тяжести, стремящаяся преодолеть силу сцепления частиц пород и сместить их вниз. Силе тяжести помогают или мешают особенности строения склонов: прочность пород, чередование слоев различного состава и их наклон, грунтовые воды, ослабляющие силы сцепления. Особенно благоприятствует возникновению оползней такое залегание пород, при котором падение кровли водоупорных пород совпадает с направлением уклона поверхности. Водоупорный слой при этом служит поверхностью скольжения, по которой более или менее значительный блок породы соскальзывает вниз по склону.

*Внешний вид оползневых склонов* имеет ряд признаков, по которым можно установить, что склоны находятся в неустойчивом состоянии:

1. Трещины на поверхности земли в верхней части склона – серия концентрических трещин, ориентированных вдоль склона (рис. 3.4.2, а, б).

2. Оползневой цирк (амфитеатр) – выемка или плоская поверхность на склоне, которая образуется в результате отрыва тела оползня от неподвижных грунтов (рис. 3.4.3, а, б).

3. Небольшие оползневые уступы или крупные террасы в сползающем массиве (рис. 3.4.4, а, б).

4. Бугры на поверхности склона, особенно в нижней части. За счет давления сползающих пород у подошвы склона формируются валы выдавливания (рис. 3.4.5, а)

5. Заболоченность поверхности склона, возникающая из-за того, что нарушается залегание водоносных горизонтов и образуются новые места разгрузки подземных вод (рис. 3.4.5, б)

6. Важным признаком оползневых движений является так называемый «пьяный лес» – наклоненные в различных направлениях деревья (рис. 3.4.6, а), а также разорванные, искривленные, саблевидные стволы деревьев (рис. 3.4.6, б) из-за повреждений корневой системы.

7. Аналогично деревьям теряют вертикальность столбы телефонной связи и линий электропередач, стены, заборы.

8. Деформации зданий и сооружений на оползневых склонах – здания с большими трещинами или даже полностью разрушенные (рис. 3.4.7, а, б)





а



б

Рисунок 3.4.2 – Трещины в верхней части склонов: а – г. Купянск, Харьковская область; б – г. Киев (153)



а



б

Рисунок. 3.4.3 – Поверхности отрыва (154): а – оползневой цирк, г. Купянск, б – относительно плоская поверхность, Япония



а



б

Рисунок 3.4.3 –Оползневые процессы (155): а – оползневые уступы, г. Купянск; б – оползневые террасы, Азербайджан





а



б

Рисунок 3.4.5 – Проявление оползневых процессов (156): а – вал выдавливания у оползающего отвала Светлинского золоторудного месторождения, Южный Урал; б – заболоченные и непроходимые склоны, Камчатка



а



б

Рисунок 3.4.6 – Растительность на оползневом склоне (157): а – «пьяный лес» - деревья наклонены под разными углами; б – саблевидное искривление стволов деревьев, Рязанская область



а



б

Рисунок 3.4.7– Проявление оползневых процессов на зданиях и сооружениях (158): а – гаражи съехали в овраг вместе с автомобилями, г. Белая Церковь, Киевская обл.; б – трещины в стенах дачного дома, Саратовская обл.



Рисунок 3.4.8 – Разрушение зданий оползнями - один дом разрушен полностью, другой в стадии разрушения, г. Торки, графство Девон, Англия (159)

### Основные элементы оползня

В результате возникновения оползня формируются характерные геоморфологические элементы оползневого склона (рис. 3.4.9):

- оползневое тело – весь сдвинувшийся грунтовый массив;
- поверхность скольжения, по которой происходит отрыв и скольжение тела оползня; форма ее может быть цилиндрической, волнистой, плоской;
- бровка срыва – участок, где произошел отрыв оползневого тела от основного неподвижного массива пород;
- террасовидные уступы или оползневые террасы, которые образуются при ступенчатом движении оползня и часто наклонены в сторону, обратную падению склона;
- вал выдавливания, иногда разбитый трещинами;
- подошва оползня — место выхода на поверхность плоскости скольжения, она может располагаться на уровне подошвы склона или быть выше или ниже.

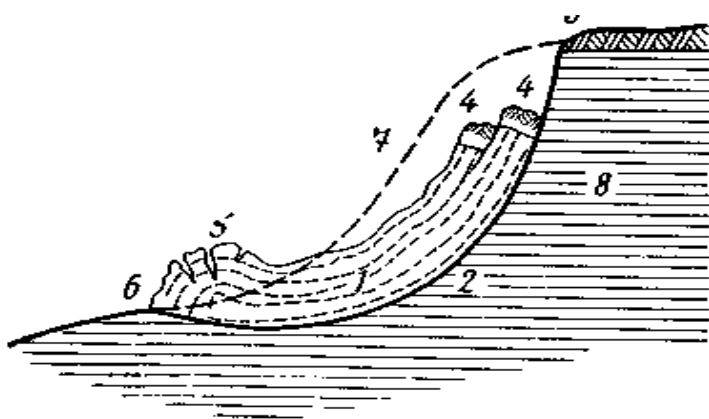


Рисунок 3.4.9 – Элементы оползня (по В. П. Ананьеву) (160): 1 – оползневое тело; 2 – поверхность скольжения; 3 – бровка срыва; 4 – оползневые террасы; 5 – вал выдавливания с трещинами; 6 – подошва оползня; 7 – положение склона до оползня; 8 – коренной массив пород

В рельефе местности оползневые тела обычно имеют определенные четко выраженные формы. Верхняя граница оползневого тела залегает ниже резкой бровки отрыва. Однако нередки случаи, особенно для пластичных глинистых пород, когда эта граница практически неразличима. В однородных породах типа лессовидных суглинков



наиболее распространены оползневые цирки, а если в склоне развито несколько соседних оползневых цирков, то между ними могут образоваться межоползневые гребни. Оползневые тела могут иметь как простое, так и сложное строение. На одном и том же участке может быть одна или несколько поверхностей скольжения. В этом случае различают оползни одно-, двух- и многоярусные (см. рис. 3.3.2). В однородных грунтах поверхность скольжения имеет округлую форму, в слоистых грунтах она часто совмещается с плоскостями напластования, но иногда, наоборот, пересекает их (рис. 3.4.10).

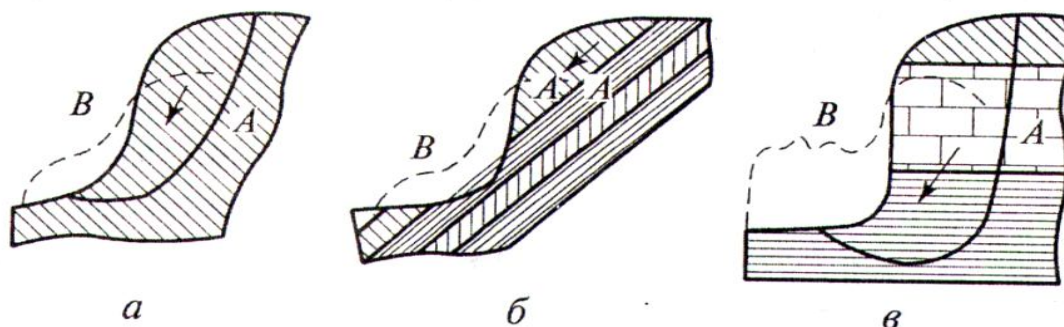


Рисунок 3.4.10 – Форма поверхностей скольжения при различном геологическом строении склона (по В. П. Ананьеву) (161): а – в однородных породах; б – при наклонном залегании слоев; в – при выдавливании пластичных глин из-под скальных пород; А – поверхность скольжения; В – положение оползневого тела.

*Классификации оползней.* Оползни не имеют единой классификации, поскольку существует множество признаков, по которым их можно различать. Объемы смещенных грунтовых масс могут колебаться в очень широких пределах и по этому признаку оползни классифицируются в соответствии с СП 11-105-97, ч. 2 (табл. 3.4.1).

Таблица 3.4.1 – Классификация оползней\* и обвалов по количеству смещенного грунта по СП 11-105-97

Масштабность склоновых процессов	Объемы оползней и обвалов, м <sup>3</sup>
Небольшая	Тысячи
Средняя	Десятки тысяч
Большая	Сотни тысяч
Очень большая	Миллионы

\*Наиболее крупными на Земле являются подводные оползни, которые значительно больше надводных и образуются при сползании больших массивов осадочных пород с краев материковых шельфов. Например, оползень «Стурега» произошел ~ 8200 лет назад, в результате него от Норвегии откололся массив побережья размером 3000 км<sup>3</sup>. Площадь оползня около 3900 км<sup>2</sup>, а дальность перемещения материала в нём достигает 500 км. В результате схода этого оползня образовалось цунами высотой 5 м, затопившее побережья северной Европы. В Шотландии обнаружены следы этого цунами на расстоянии 80 км от берега.



По строению оползней одна из ранних простых, но вполне актуальных классификаций, была предложена Ф. П. Саваренским. Он выделил 3 типа оползней по их структуре:

1.) асеквентные – оползни развиваются в однородных неслоистых, глинистых грунтах; поверхность скольжения имеет криволинейную форму, положение которой зависит от внутреннего трения и сцепления грунтов;

2.) консеквентные – поверхность скольжения совпадает с наклонной поверхностью напластования грунтов, зон их ослабления или с трещинами;

3.) инсеквентные – поверхность скольжения пересекает слои различного состава, ее форма неровная, вогнутая.

Из современных существует классификация в СП 11.105-97 ч.2, где типы и подтипы склоновых процессов выделены по механизму смещения пород, условиям их возникновения и характеру проявления (табл. 3.4.2). В данной классификации есть существенный недостаток: вместе с оползнями приводятся обвалы, вывалы и осыпи, которые к оползням не относятся. Назвать ее классификацией гравитационных склоновых процессов также нельзя, т.к. они приведены не все, например, отсутствуют сели, лавины.

Таблица 3.4.2 – Классификация оползней и других склоновых процессов по СП 11-105-97. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов

Типы опасных склоновых процессов (по механизму смещения пород)	Подтипы	Характеристика пород основного деформируемого горизонта (ОДГ)	Характер проявления
1	2	3	4
Оползни сдвига (скольжения)	Инсеквентные (срезающие)	Глинистые (реже выветренные полускальные и скальные) породы, массивные или слоистые, с пологим, или обратным падению склона залеганием слоев	Отрыв и смещение блоков пород по вогнутой криволинейной поверхности с одновременным их запрокидыванием
	Консеквентные (соскальзывающие)	Прослои глинистых пластичных грунтов в толще более прочных грунтов и поверхности ослабления, наклоненные в сторону падения склона	Смещение массива или блоков пород по поверхностям ослабления

1	2	3	4
Оползни выдавливания	—	Глинистые, преимущественно пластичные	Выдавливание грунта из-под подошвы приречного уступа склона и его смещение совместно с ранее образовавшимися на склоне оползневыми накоплениям
Оползни вязкопластические	Оползни-потоки Сплывы (оплывины)	Глинистые, малоуплотненные и слаболигифицированные, пластичные	Вязкопластическое течение массы грунта: по ложбинам – оползни-потоки, вытянутой по оси оползания формы в плане; на увлажненных крутых уступах – сплывы; в пределах зоны сезонного промерзания при оттаивании – оплывины
Оползни гидродинамического разрушения	Суффозионные. Гидродинамического выпора	Водонасыщенные песчаные и глинистые пылеватые грунты	Отрыв оползневого тела или обрушение суффозионной ниши с последующим растеканием сместившейся водонасыщенной массы
Оползни внезапного разжижения	Несейсмогенного разжижения Сейсмогенного разжижения	Слабоуплотненные глинистые и песчаные водонасыщенные грунты, подверженные быстрому разупрочнению при динамических воздействиях	Разжижение при динамическом воздействии (техногенном сотрясении или сейсмических толчках) и быстрое вязкое течение разжиженного грунта по уклону рельефа
Обвалы и вывалы	—	Скальные, полускальные и глинистые твердые трещиноватые породы	Отрыв от крутых уступов (откосов) крупных блоков (обвалы) или отдельных глыб грунта (вывалы) с последующим быстрым смещением (свободным падением или качением)
Осыпи	—	Скальные и полускальные выветрелые, песчаные и твердые глинистые породы	Отрыв от обнаженной поверхности уступа (откоса) и скатывание к его основанию мелких обломков породы

Скорость движения оползней – очень различна: от нескольких сантиметров в год до нескольких метров в секунду (табл. 3.4.3).

Принципиально все оползни можно разделить на два типа: соскальзывающие и постепенно сползающие. При соскальзывании тело оползня перемещается за один прием и очень быстро. Такие оползни чрезвычайно опасны и часто приводят к катастрофическим последствиям (рис. 3.4.11, 3.4.12).

Таблица 3.4.3 – Характеристика оползней по скорости движения

Оценка движения	Скорость
Исключительно быстрое	3 м/сек
Очень быстрое	0,3 м/мин
Быстрое	1,5 м/сутки
Умеренное	1,5 м/месяц
Очень медленное	1,5 м/год
Исключительно медленное	0,06 м/год



Рисунок 3.4.11 – Огромный оползень (соскальзывающего типа) сошел в Афганистане на кишлак Хобо Барик 5 мая 2014 г.; официальное число жертв составляет около 300 человек. (Фото AP Photo Rahmat Gul) (162)





а



б

Рисунок 3.4.12 – Примеры оползней (163): а – оползень на Тайване, сошедший 28 апреля 2010 г. перекрыл национальное шоссе. В результате около 300 метров эстакады оказались под многометровым завалом из обломков и грязи; б – для расчистки трассы от оползневых масс было привлечено около 30 экскаваторов

## Причины образования оползней

Основными причинами возникновения оползней являются три группы природных и техногенных процессов:

1. Процессы, изменяющие внешнюю форму и высоту склона: повышение или понижение базиса эрозии рек, оврагов; абразивная работа морских волн и текучих вод; подрезка склона при строительстве дорог и искусственными выемками.

2. Процессы, ведущие к ухудшению физико-механических свойств грунтов, слагающих склон за счет процессов выветривания, увлажнения подземными, поверхностными и хозяйственными водами; за счет растворения и выноса солей, а также суффозионного выноса частиц подземной водой с образованием в породе пустот.

3. Процессы, создающие дополнительную сдвигающую составляющую сил в грунтовом массиве: увеличение гидростатического давления воды в трещинах и порах породы при повышении уровня грунтовых вод; гидродинамическое давление при фильтрации воды в сторону склона; искусственные статические и динамические нагрузки на склон; сейсмические колебания.

Из перечисленного видно, насколько многообразны факторы и причины возникновения оползней. При этом каждый конкретный случай образования оползня может быть связан одновременно с несколькими причинами.

При оценке опасности оползневых склонов большое значение имеют анализ истории развития и определение возраста оползней. Оползни делятся на древние и современные. Древние недействующие оползни движений не проявляют. Оползневое тело покрывается растительностью и преобразуется процессами выветривания. Пример древнего оползня приведен на рис. 3.4.13.

Современные оползни могут находиться в стадии подготовки к движению, в стадии активного оползания или в процессе его завершения. Большинство современных оползней смещается постепенно и относительно медленно, хотя и с различной скоростью. Наблюдения за движением медленных оползней проводятся по геодезическим реперам, установленным в теле оползня и на неподвижных участках склона. Для современных оползней требуются мероприятия по защите от негативных последствий развития оползневых процессов.



Рисунок 3.4.13 –Древний крупный оползень-поток, заполнивший всю долину, Колорадо, США (164)



*Методы борьбы с оползнями.* Борьба с оползнями во многих случаях оказывается чрезвычайно сложной, дорогостоящей и, к сожалению, не всегда эффективной. Для успешного применения противооползневых мероприятий необходимо высокопрофессиональное выполнение инженерно-геологических изысканий с оценкой фактической степени устойчивости склона. Эти изыскания должны выполняться согласно СНиП 11.02-96 и СП 11.105-97.

Комплекс мероприятий по борьбе с оползнями должен выполняться в соответствии с требованиями ДБН В.1.1-24:2009 «Захист від небезпечних геологічних процесів». Борьба с оползнями включает пассивные и активные меры.

*Пассивные меры* имеют предупредительно-запретительный характер. К ним относятся:

1. Запрещение подрезки нижней части склонов при строительстве дорог, прокладке коммуникаций и т.д.
2. Запрещение подсыпки грунта и строительства в оползневой зоне.
3. Запрещение производства взрывных и других вибрационных работ вблизи оползневых склонов.
4. Запрещение движения тяжелого транспорта и ограничение скорости движения поездов вблизи оползневой зоны.
5. Запрещение сброса на склон поверхностных и любых других вод.
6. Запрещение уничтожать растительность на склоне.

*Активные меры* заключаются в инженерных способах борьбы. Они подразделяются на четыре группы.

1. Борьба с процессами, вызывающими оползание, например, с разрушающей работой морских волн и речной эрозией, с замачиванием склонов поверхностными и подземными водами. Для этого производят берегоукрепительные работы, осуществляют перехват поверхностных вод нагорными канавами, а подземных вод – дренажными системами. Для повышения устойчивости склонов осуществляют их террасирование или планировку.

2. Вторая группа активных мер направлена на удержание оползающих грунтовых масс. К ним относятся железобетонные или металлические сваи, которые прорезают оползневое тело и входят в устойчивую часть склона. Чтобы не нарушить устойчивость склона при забивке, сваи погружают через пробуренные скважины. Сваи располагают обычно в шахматном порядке. Устройство подпорных стенок, основание которых обязательно должно располагаться ниже поверхности скольжения. Пригрузка нижней части склона массивными бетонными контрбанкетами.

3. Третья группа методов направлена на увеличение механической прочности грунтов склона. К ним относятся силикатизация, цементация, замораживание и другие методы укрепления грунтов. Эти методы из-за высокой себестоимости применяются сравнительно редко.

4. Четвертая группа методов – это удаление оползневых масс до устойчивых грунтов. Часто это наиболее эффективный способ. Метод довольно дорогой и трудоемкий, применяется обычно для небольших оползней или в особых случаях, например, (рис. 3.4.12, б).

*Устройство стенок карьеров в нескальных грунтах.* При строительстве и эксплуатации карьеров для добычи полезных ископаемых, в том числе естественных



строительных материалов (песок, глина, гравий и др.) приходится обеспечивать создание устойчивых и безопасных откосов. Оползания и обвалы в карьерах, могут иметь катастрофические последствия (рис. 3.4.14). Категорически запрещается добыча строительных материалов с образованием нависающих участков стенок. Во всех случаях при проектировании необходимо предусмотреть профиль стенок устойчивый к оползням и обвалам. Для этого на откосах устраивают промежуточные горизонтальные площадки – бермы, отводят поверхностные и подземные воды в сторону от откосов. Углы откосов принимают в соответствии с таблицей 3.4.4.



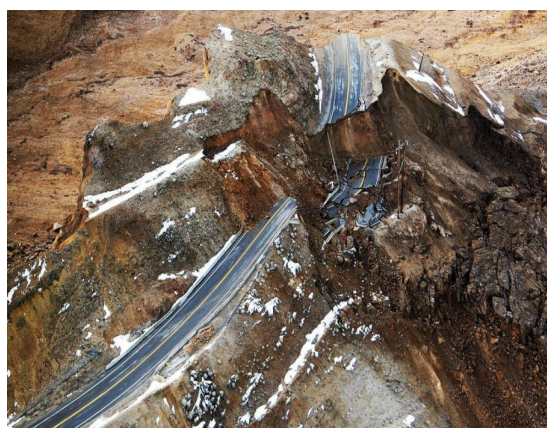
а



б



в



г

Рисунок 3.4.14 – Оползень в самом большом в мире меднорудном карьере (165): карьер Бингем-Каньон был закрыт из-за гигантского оползня, который засыпал технику, оборудование и уничтожил часть комплекса зданий. ЧП произошло 11 апреля 2014 года. Этот карьер по добыче медной руды находится в штате Юта в США, ведет свою историю с 1863 года и является одним из крупнейших в мире: его ширина составляет 4 км, а глубина более 1,2 км

Таблица 3.3.4 – Характеристики устойчивых откосов в дисперсных грунтах

Грунты	Сухие		Насыщенные водой	
	Угол устойчивого откоса	Отношение высоты к заложению	Угол устойчивого откоса	Отношение высоты к заложению
Галечниковые и гравийные	35-40°	1:1½ 1:2¼	35°	1:2¼
Песчаные	30°	1:1¾	25°	1:2¾
Пылевато-глинистые	40-45°	1:1½ 1:1	20-25°	1:2¾

### 3.5 Селевые потоки и лахары. Снежные лавины

**Определение селя, причины образования и классификации селей. Методы защиты от селей. Лахары. Снежные лавины, их виды, причины возникновения и способы защиты**

*Селевый поток или сель* – (от араб. سيل сайль – бурный поток) – это водный поток с очень большой концентрацией глинистых частиц, песка, камней и более крупных обломков горных пород, составляющих до 50-60 % объёма потока, который внезапно возникает в бассейнах небольших горных рек и вызывается, как правило, интенсивными ливневыми осадками или бурным таянием снегов. Сель представляет собой нечто среднее между жидкой и твёрдой массой, а размеры отдельных валунов и обломков в потоке достигают 3-4 м в диаметре. Селевые потоки относительно кратковременны, их продолжительность колеблется от десятков минут до нескольких часов. В отличие от водных потоков, сель движется, как правило, не сплошным потоком, а отдельными волнами. Он характерен для долин небольших горных водотоков длиной до 25-30 км с площадью водосбора до 50– 100 км².

Главные причины возникновения селей — интенсивные и продолжительные ливни, быстрое таяние снега или ледников. Иногда сель может образоваться при обрушении в русла рек большого количества рыхлого грунта. В результате селя одновременно выносятся сотни, а иногда и миллионы кубических метров насыщенной водой вязкой массы. При встрече с препятствиями сель их преодолевает (переливается через верх или разрушает преграду) и продолжает наращивать свою кинетическую энергию.

Обладая большой массой и высокой скоростью передвижения, до 15 км/ч, сели разрушают здания, дороги, транспорт, гидротехнические и другие сооружения, выводят из строя линии связи и электропередачи, уничтожают сельскохозяйственные земли, приводят к гибели людей. Так, сель, сошедший 8 июля 1921г. на город Алма-Ата по руслу реки Малой Алматинки, за четыре часа вынес на территорию города 1,5 млн тонн грязе-каменного материала, разрушил сотни домов, уничтожил большое количество садов и сельскохозяйственных земель и унес сотни человеческих жизней (рис. 3.5.1).





Рисунок 3.5.1 – Глыбы, вынесенные селевым потоком на улицы города Алма-Ата, Казахстан (166)

Другие примеры последствий селей приведены на рисунке 3.5.2.



а



б

Рисунок 3.5.2 – Результаты прохождения селей:

а – Кабардино-Балкария; б – Дагестан;  
в – Южная Корея (167)



в



Тип селевого потока определяется составом и содержанием пород, образующих сель. Основные типы селевых потоков:

- водно-каменные (наносноводные) – смесь воды преимущественно с крупными камнями и скальными обломками (объемный вес  $\gamma = 1,1-1,5 \text{ т/м}^3$ );
- грязевые – смесь воды с глинистыми частицами при небольшой концентрации камней ( $\gamma = 1,5-2 \text{ т/м}^3$ );
- грязекаменные – смесь воды, глины, гравия, гальки, небольших камней ( $\gamma = 2,1-2,5 \text{ т/м}^3$ ).

Многим горным районам свойственно преобладание того или иного вида селя по составу переносимой им твердой массы. Так, в Карпатах чаще всего встречаются водно-каменные селевые потоки сравнительно небольшой мощности, на Северном Кавказе – преимущественно грязекаменные, в Средней и Восточной Азии – грязевые потоки.

Классификация селей по содержанию твердого вещества в потоке приведена в таблице 3.5.1, а их наименования в зависимости от причин возникновения – в таблице 3.5.2.

Таблица 3.5.1 – Классификация типов селевых потоков по ДБН В.1.1-24:2009

Отношение объема твердого вещества к объему смеси	Преобладающие размеры обломков горных пород (>50 % общего объема твердой фазы)	
	>1 мм	<1 мм
>0,5	Грязекаменный	Грязевой
<0,5	Наносноводный	

Таблица 3.5.2 – Классификация селей по основным причинам их возникновения

Типы	Причины	Распространение и зарождение
1	2	3
1. Дождевой	Ливни, затяжные дожди	Самый массовый на Земле тип селей; образуется в результате размыва склонов и оползания грунтов
2. Снеговой	Интенсивное снеготаяние	Происходит в субарктических горах в результате переувлажнения и срыва снежных масс
3. Ледниковый	Интенсивное таяние снега и льда	Наблюдается в высокогорных районах. Зарождение связано с накоплением и прорывом талых ледниковых вод

1	2	3
4. Вулканогенный	Извержения вулканов	В районах действующих вулканов. Самые крупные сели возникают при бурном снеготаянии и прорыве кратерных озер
5. Сейсмогенный	Сильные землетрясения	В районах высокой сейсмичности. Образуется при срыве грунтовых масс со склонов в русла рек
6. Лимногенный	Разрушение озерных плотин	В высокогорных районах при разрушении плотин, удерживающих озера
7. Техногенный (прямого воздействия)	Скопление техногенных пород. Грунтовые плотины низкого качества	На участках складирования отходов горнодобывающей промышленности, отвалов. Размыв и сползание техногенных пород. Разрушение плотин
8. Антропогенный (косвенного воздействия)	Нарушение почвенного и растительного покрова	На участках сведения лесов, лугов. Размыв склонов и русел водотоков

В Украине сели зарегистрированы в горных районах Закарпатской, Ивано-Франковской, Львовской, Черновицкой областей и Крыма; здесь необходимы мероприятия по защите от них.

*Инженерно-техническая система мер защиты от селей* предназначена для прямого воздействия на движущийся селевой поток в целях его остановки или ограничения зоны его вредного воздействия. В руслах селеопасных горных водотоков строят простейшие сооружения для предотвращения глубинного и бокового размыва русла – берегоукрепительные стенки, отмостки, донные запруды. Селезащитные сооружения по основному назначению подразделяются на три класса – регулирующие, задерживающие, стабилизирующие. *Регулирующие сооружения* – дамбы, селеспуски, селепропускные каналы и др. – служат для отвода, изменения направления движения, локализации или пропуска селевого потока над или под защищаемым объектом. *Задерживающие сооружения* – это селезадерживающие плотины и селехранилища – рассчитаны на остановку всей селевой массы или большей части твёрдой составляющей потока. Известным примером крупной плотины, построенной специально для защиты от селей, является плотина Медео в Казахстане (рис. 3.5.3). Ячеистые противоселевые дамбы и плотины служат для задержки крупнообломочного материала и пропуска смеси воды и мелких фракции пород. *Стабилизирующие сооружения* – система невысоких подпорных запруд вдоль селевого русла – преобразуют его продольный профиль в ступенчатый с меньшими уклонами, что препятствует прохождению селей.



Рисунок 3.5.3 Противоселевая плотина в урочище Медео, Казахстан (168)

Созданная направленным взрывом в 1968 году в 25 км от города Алма-Аты на высоте 1733 метров над уровнем моря, плотина была сооружена для защиты города от селей, формирующихся на вершинах Западного Тянь-Шаня. Плотина имеет 3 уровня высоты. Специальное водовместилище позволяет удерживать около 6 миллионов кубических метров воды. В июле 1973 года плотина Медео задержала катастрофический селевой поток объемом четыре миллиона кубометров селевой массы и полтора миллиона кубометров паводковых вод.

Инженерные сооружения наиболее эффективны в сочетании с мелиорацией селевых бассейнов.

Для борьбы с селями закрепляют поверхность земли посадками леса на горных склонах, особенно в местах зарождения селей. Уровень воды, скопившейся в горных озерах и селехранилищах, периодически уменьшают с помощью насосных установок. Выкапывают нагорные перехватывающие и водосбросные каналы для отвода стока в ближайшие водотоки, сооружают обводные каналы.

Для своевременного принятия мер, организации надежной защиты населения первостепенное значение имеет четко организованная система оповещения и предупреждения. В районах, которым угрожает сель, создается противоселевая служба. В ее задачи входят прогноз возникновения селевого потока и информирование населения о времени его появления и, при необходимости, планируется эвакуация.

*Лахар* (от индонез. Lahar – грязевой вулканический поток, грязе-пепловая лава) – это грязевой поток, возникающий на склонах вулкана. Лахар образуется при смешивании холодного или раскаленного вулканического материала с водами кратерных озер, рек, ледников или дождевой водой и несет вулканический пепел, мелкие обломки, иногда



угловатые глыбы горных пород эффузивного происхождения, залегающие на вулканическом склоне (рис. 3.5.4). Различают горячие и холодные лахары. *Лахар горячий* (синоним – река пылающая, жгучая) – это поток, образованный горячим пеплом с большим количеством и другого пирокластического материала, смешанным с водой. Чаще всего он возникает при эксплозивном (взрывным) извержении вулканов, имеющих кратерные озера. *Лахар холодный* (синоним – холодная лава) обычно может образоваться при сильном ливне и таянии снега на склонах вулкана.

Подобно селю, лахар движется под действием силы тяжести и обладает высокой несущей способностью и большой подвижностью движущейся массы. Имея высокую скорость и интенсивность движения лахаровый поток смертельно опасен. Консистенция, вязкость и плотность лахара приблизительно такая же, как у бетона. Лахар жидкий при движении, а в состоянии покоя превращается в плотную массу из-за высокой вязкости.



Рисунок 3.5.4 – Лахар на вулкане Сент-Хеленс, Каскадные горы, США, возникший в результате извержения 1980 года (169)

Скорость течения потока может достигать 100 км/ч, а расстояние, на которое перемещается лахар, может составить десятки километров (по некоторым данным до 300), при этом он вызывает катастрофические разрушения на своём пути (рис. 3.5.5, 3.5.6).



Рисунок – 3.5.5 Холодный лахар от вулкана Мерапи, Индонезия (170)



Рисунок 3.5.6 – Дома почти полностью поглощенные лахаром, возникшим при извержении вулкана Галунггунг в Индонезии в 1982 году (171)

В Каскадных горах на тихоокеанском побережье США лахары перемещались на расстояние до 80 км. Многочисленные потоки такого типа были вызваны извержением вулкана Сент-Хеленс в 1980 г.



Один из самых крупных лахаров, сошедший с вершины вулкана Клуд на острове Ява в 1919 г., покрыл площадь в 132 км<sup>2</sup>. При этом было уничтожено более 100 селений, погибло 5110 человек.

Самым смертоносным лахаром в истории считается громадный грязе-пепловый поток, который, отрезав от внешнего мира, почти полностью разрушил город Армеро в Колумбии и привел к гибели 23 тысяч его жителей (рис. 3.5.7). Подобные, но не настолько разрушительные, лахары возникали в этой местности и раньше в 1595 и 1845 годах. Однако относительно небольшое извержение вулкана Невадо-дель-Руис в 1985 году после 150-летнего периода неактивности вулкана вызвало огромный разрушительный лахар. В настоящее время до 500 тысяч жителей окрестных районов постоянно находятся под угрозой возникновения лахаров, которые могут сойти со склонов этого вулкана.



Рисунок 3.5.7 – Лахар, разрушивший город Армеро, Колумбия, 1985 г. (172)

*Снежная лавина или просто лавина* (нем. Lawine, от позднелатинского labina – оползень) – это снежный обвал, скольжение внезапно пришедшей в движение массы снега на горном склоне. Возникновение лавин возможно во всех горных районах, где устанавливается устойчивый снежный покров.

Лавины представляют собой смесь снега и воздуха. Крупные лавины возникают на склонах с углом 25-60°. Они способны наносить большой ущерб, часто приводят к гибели людей. Так, одна из трагедий альпинизма была связана со сходом большой снежной лавины на пике Ленина на Памире, которая 13 июля 1990 г. снесла лагерь альпинистов, располагавшийся на высоте 5300 м. Погибло 40 человек. В Непале 25 апреля 2015 г. при сходе лавины на международный лагерь альпинистов погибло 65 человек.



Скорость движения лавины составляет в среднем 20-30 м/сек. Ее движение обычно сопровождается своеобразным свистом низкого тона, если она состоит из сухого снега, скрежетом (в случае перемещения мокрого снега) или оглушительным шумом при возникновении ударной воздушной волны от движения мощной лавины.

По составу движущейся массы среди лавин выделяются следующие виды:

- *Снежная лавина* – состоящая только из снега, самый распространенный тип лавин (рис. 3.5.8);
- *Снежно-ледяная* – включающая кроме снежной массы также глыбы льда;
- *Щебенисто-снежная* – захватывающая при движении подстилающие дисперсные, обычно осыпные склоновые отложения.



Рисунок 3.5.8 – Снежная лавина (173)

В зависимости от характера движения снега по склонам выделяются три типа лавин:

- «*снежный осов*» – ступенчато-сползающий снежный оползень, соскальзывающий по поверхности крутого или травянистого склона вне ложбин или русел водотоков; осовы часто происходят на южных склонах;
- «*лотковые лавины*» – движущиеся по ложбинам, логам и руслам водотоков; у их подножия образуется большой конус выноса (рис. 3.5.9, а);
- «*прыгающие лавины*» – свободно падающие с уступов, иногда прямо на дно долины (рис. 3.5.9, б).



а



б

Рисунок 3.5.9 – Виды лавин (174): а – лотковая лавина; б – прыгающая лавина

Для территорий, подверженных лавинной опасности, составляются специальные карты, на которых выделяются районы со значительной, средней и слабой лавинной опасностью, а также районы с потенциальной опасностью, могущие стать лавиноопасными при вырубке лесов, выемке грунта на склонах и т.п. (рис. 3.5.10).

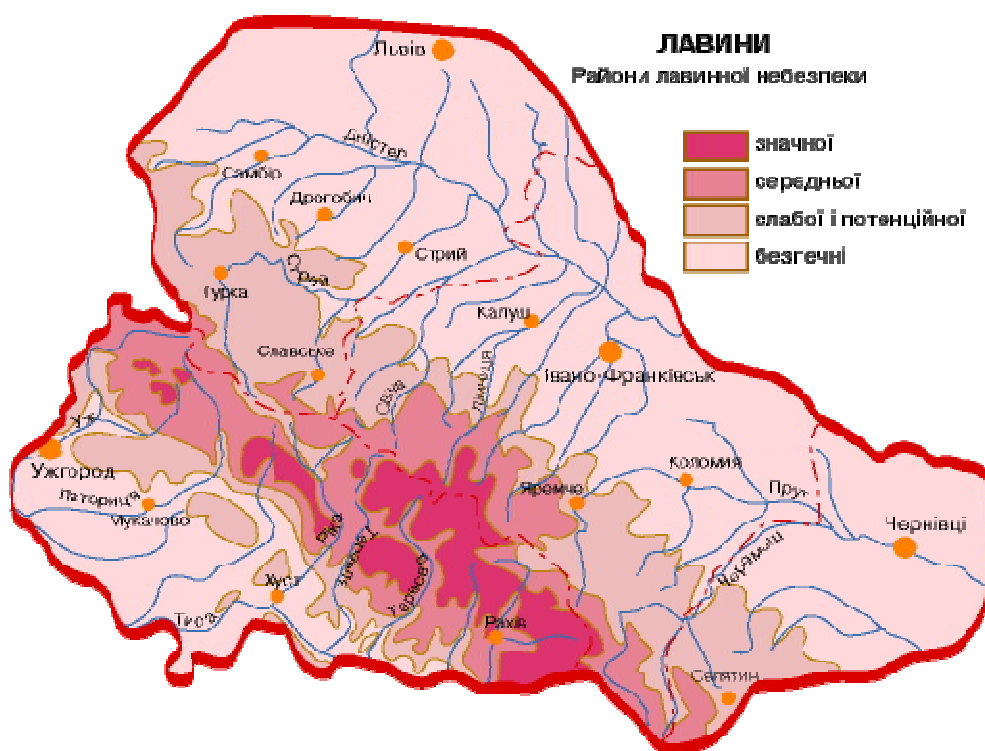


Рисунок 3.5.10 – Лавиноопасные районы Карпат (175)

В Украине многократные сходы снежных лавин зарегистрированы в горных районах Закарпатской, Ивано-Франковской, Львовской областей и Крыма.

Факторы формирования и движения лавин весьма многообразны, но их можно разделить на природные и техногенные. К *природным* относятся следующие:

— *Геоморфологические условия* – экспозиция склона, угол его наклона, морфология долины и склона, наличие на склоне деревьев или кустарников, задерживающих снег; в зависимости от крутизны склона ( $\alpha$ ) движение лавин разного состава снега происходит при следующих углах: для мокрого снега  $\alpha = 15^\circ$  и меньше; сухой снег  $\alpha = 15-22^\circ$ ; фирн  $\alpha = 30-55^\circ$  и больше.

— *Климатические и погодные условия* – количество выпадающего снега, интенсивность и длительность снегопада, направление ветра при снегопаде, температура воздуха и поверхности снега, перекристаллизация снега в толще, подтаивание нижнего слоя, снижающее сцепление и силы трения;

— *Сейсмические условия* – возможность землетрясений.

К техногенным факторам формирования и схода лавин относятся:

— *Искусственные динамические воздействия на склон* (взрывы при разработке полезных ископаемых, работа мощных механизмов и тяжелого транспорта и т.д.); такие воздействия являются наиболее серьезными и опасными;

— *Уничтожение древесной растительности* – вырубка лесов на склонах, создание открытых пространств;

— *Неправильная застройка склонов*, приводящая к накоплению снежных масс до критического уровня; строительство в лавиноопасных районах должно осуществляться с учетом и мерами предотвращения схода лавин.

— *Непосредственные воздействия на лавиноопасный снежный покров* лыжников, сноубордистов и других людей (рис. 3.5.11).



Рисунок 3.5.11 – Лыжник на лавиноопасном склоне (176)



Наиболее надежным способом защиты от лавин является размещение строительных объектов вне лавиноопасных участков. Но в случае, если это невозможно, следует предусмотреть меры защиты в соответствии с ДБН В.1.1-24:2009.

*Противолавинные мероприятия* подразделяются на три группы: профилактические, предупредительные и лавинозащитные (табл. 3.5.3).

Таблица 3.5.3 – Виды противолавинных мероприятий и сооружений по ДБН В.1.1-24:2009

Виды мероприятий и сооружений	Назначение сооружений и мероприятий, условия их применения
<p><i>I. Профилактические:</i></p> <p>Организация службы наблюдения, прогноза и оповещения.</p> <p>Искусственно регулируемый сброс лавин</p>	<p>Прогноз схода лавин. Прекращение работы и доступа людей в лавиноопасные зоны во время схода лавин и эвакуация людей из опасной зоны.</p> <p>Регулируемый спуск лавин и разгрузка нестабильных масс снега путем обстрелов, взрывов, подпиливания карнизов и т.д. на основе прогноза устойчивости масс снега на склоне</p>
<p><i>II. Предупредительные:</i></p> <p>Системы снегоудерживающих сооружений (ограды, стены, щиты, решетки, сетки), террасирование склонов, агролесомелиорация.</p> <p>Системы снегозадерживающих ограждений и щитов.</p> <p>Снеговыводуемые панели (дюзы), кольктафели</p>	<p>Обеспечение устойчивости снежного покрова в районах зарождения лавин, в том числе в сочетании с террасированием склонов, агролесомелиорацией, регулированием снегонакопления.</p> <p>Предотвращение накопления снега в районах возникновения лавин путем удержания осадков на наветренных склонах и плато.</p> <p>Регулирование, перераспределение и закрепление снега в зоне зарождения лавины</p>
<p><i>III. Лавинозащитные:</i></p> <p>Направляющие сооружения: стенки, искусственные русла, лавинорезы, клинья.</p> <p>Тормозящие и останавливающие сооружения: надолбы и холмы, траншеи, дамбы, пазухи.</p> <p>Проницаемые сооружения: навесы, галереи, эстакады</p>	<p>Изменение направления движения лавины.</p> <p>Обтекание лавиной объекта.</p> <p>Торможение или остановка лавины.</p> <p>Пропуск лавин над объектом или под ним</p>

Отдельные примеры противолавинных сооружений приведены на рисунках 3.5.12, 3.5.13.



Рисунок 3.5.12 Снегоудерживающие сетки, Карпаты (177)



Рисунок 3.5.13 – Противолавинная галерея на Усинском тракте, Красноярский край, Россия (178)

В 2012 году введена в эксплуатацию самая длинная в России противолавинная галерея, протяженностью 1340 м, расположенная на самом опасном отрезке федеральной трассы М54 «Енисей», где зимой фиксируется до 10 сходов лавин в сутки (!). Она находится на границе Тывы и Красноярского края. Помимо уникальных размеров

особенностью галереи является специальная конструкция балок пролетного строения и верховой опоры, рассчитанная на сейсмическую активность до 9 баллов.

Кроме того, наиболее современные противолавинные мероприятия можно разделить на две основные группы: пассивные (средства защиты) и активные (средства воздействия на снежный покров).

Пассивные (средства защиты) – это лавиноотводящие дамбы и лавинорезы, а также снегоудерживающие сетки.

Одним из надежных способов защиты от лавин является изменение пути их движения с целью отвода снеголавинного потока в сторону от защищаемого объекта или направления его по строго фиксированному руслу. Достигают этого строительством лавинорезов, отбойных дамб и направляющих стенок. Лавинорезы представляют собой клинообразные в плане конструкции, направленные острием против движения лавины. Их строят, чтобы разделить лавинный поток на две части и направить их в обход какого-то сооружения или участка, например, для защиты опор канатных дорог. Расположенные под углом к лавинному потоку, они изменяют направление движения лавины, уводя ее в сторону от защищаемых объектов.

Для удержания снега на склонах в зонах зарождения лавин активно используются снегоудерживающие сетки. Они надежно удерживают снежные плиты и хорошо сопротивляются динамическим нагрузкам при образовании трещин в плите и ее подвижке. А также затормаживают или полностью предотвращают сползание рыхлого сухого и мокрого снега.

Вторая группа включает в себя системы активного воздействия на снежный покров для своевременного искусственного сброса лавин. Например, применявшиеся для защиты объектов зимней Олимпиады-2014 в г. Сочи, система Gazex, пневматическая пушка – «аваланчер» и комплекс — Daisy Bell.

### 3.6 Эрозия горных пород и почв. Ветровая эрозия.

**Виды эрозии горных пород и почв. Ветровая эрозия, её причины и последствия. Пыльные бури и дефляция почв. Способы борьбы с эрозией и защита от её негативных последствий**

*Эрозия* (от лат. *erosio* – разъедание) – это совокупность природных или техногенных процессов, разрушающих поверхность суши, горные породы и почвы. Эрозия является деструктивным процессом, который происходит на земной поверхности под действием ветра, текучих вод (дождевых, талых и речных вод), ледников (*экзарация*), морского прибоя (*абразия*), гравитационных склоновых и других факторов, которые перемещают обломки пород и частицы почвы. Процессы эрозии распространены на Земле повсеместно. Иногда эрозия рассматривается и в более широком смысле – как *выветривание* пород или *денудация*. Поверхностные воды и океанские волны обычно являются самыми существенными агентами эрозии рельефа Земли. Ветровая эрозия преобладает в условиях аридного (засушливого) климата, водная эрозия – в условиях гумидного (влажного) климата.

Видоизменение горных пород в процессе разрушения часто проявляется в виде корразии. *Корразия* (от лат. *corrado* – скоблить, соскребать; *corrasio* – обтачивание) – это



процесс шлифования, полирования и высверливания горных пород обломочным материалом, перемещаемым водой, ветром, льдом, а также истирание самих движущихся обломков. В пустынях корразия производится песком, несомым ветром, в ложе ледника – льдом и скальными обломками, вмёрзшими в лед, в русле реки – валунами и галькой, перекачиваемыми водой, на склонах – в результате гравитационных перемещений обломков горных пород. Выдувание и перенос материала, который возникает при корразии, называется *дефляцией*.

На интенсивность эрозионных процессов влияют твердость горных пород, их структура, текстура, степень выветренности пород и другие факторы. Процессы выветривания пород приводят к их ускоренной корразии и связанной с ней дефляции. В результате возникают различные своеобразные формы скал (рис. 3.6.1) и рельефа местности (рис. 3.6.2), характерные для областей, где преобладают те или иные факторы эрозии.

### **Ветровая эрозия (корразия и дефляция)**

Ветровая эрозия развита в основном на территориях с недостаточным увлажнением, где выпадает незначительное количество атмосферных осадков, и уровень грунтовых вод расположен на большой глубине – в пустынях и полупустынях, степях и, частично, в лесостепи. Она проявляется в виде *ветровой корразии* горных пород и *дефляции*. В таких местах главным геологическим фактором эрозии является ветер. *Корразия* неподвижных разрушающихся пород сопровождается выдуванием и уносом материала, который при ней получается. Этот материал, вновь подхватываемый ветром, производит дальнейшую корразию. Корразии подвергаются все скальные выступы, причем более мягкие участки, менее сцементированные, углубляются быстрее, чем плотные, и тогда образуются ячейки, ниши, углубления различных форм (рис. 3.6.3, 3.6.4).

В то же время, любой более плотный участок породы со временем становится выпуклой формой. Поскольку переносимый ветром песчаный материал движется над самой поверхностью земли, не выше 2 м, а чаще до 0,5 м, обтачивание происходит в нижней части скальных выступов. Поэтому нередко формируются различные скалы причудливых форм: «каменные обелиски», «каменные грибы», формы – с тонкой «шейкой» в основании и расширением вверх. Иногда образуются качающиеся камни, когда между двумя глыбами остается только небольшая поверхность соприкосновения.

Уникальные примеры ветровой эрозии встречаются в Белой пустыне в Египте – относительно небольшой территории площадью примерно 300 км<sup>2</sup> на востоке Сахары, на расстоянии ~ 500 км к юго-западу от Каира.

Белая пустыня известна причудливыми формами корразии меловых образований. Восемьдесят миллионов лет назад на месте пустыни плескалось море. Когда море ушло, то после него на суше остались известняковые меловые отложения, образованные из кальцитовых скелетов морских организмов – планктона, моллюсков, аммонитов, кораллов.

За века выветривание превратило дно бывшего моря в подобие поверхности какой-то другой планеты. Ветер выточил различные скульптуры, напоминающие грибы, фантастических животных и сфинксов (рис. 3.6.5, 3.6.6, 3.6.7). Высота некоторых фигур достигает 10-12 метров. С 2002 года Белая пустыня является национальным парком Египта.



а



б

Рисунок 3.6.1 – Столбы выветривания Маньпупунёр или мансийские болваны – летом (а) и зимой (б) (179)

Геологический памятник природы в Троицко-Печорском районе Республики Коми, Россия. Находится на плато Мань-Пупу-нёр (на языке манси – «малая гора идолов»). Останцев – 7, их высота от 30 до 42 м. С Маньпупунёром связаны многочисленные легенды; прежде он являлся культовым местом народа манси. Народ манси верит, что эти столбы – застывшие от ужаса великаны-самоеды. В прошлые времена у манси подниматься на Маньпупунёр было величайшим грехом. Около 200 миллионов лет назад на месте этих каменных столбов были высокие горы. Дождь, снег, ветер, мороз и жара постепенно разрушали горы и в первую очередь некрепкие породы. Твёрдые кварцит-серицитовые сланцы, из которых сложены останцы, разрушались меньше и сохранились



до наших дней, а мягкие породы были разрушены выветриванием, их обломки снесены водой и ветром в понижения рельефа.



Рисунок 3.6.2 – «Берег скелетов» в Намибии (180): Является одним из старейших участков поверхности Земли: коренные горные породы, из которых он состоит, имеют возраст свыше полутора миллиардов лет. Пустынные ветры постоянно несут песок в море, постепенно продвигая береговую линию на запад



Рисунок 3.6.3 – Корразионные ниши в известковых песчаниках в Синайской пустыне (181)





а



б

Рисунок 3.6.4 –  
Корразионные ячейки (а) и  
ниши (б) в скальных  
породах, Иран (182)



Рисунок 3.6.5 – «Каменные грибы» в Белой пустыне, Египет (183)



а



б

Рисунок 3.6.6 – Качающиеся камни (а) и «каменный лист» (б) в Белой пустыне, Египет (184)





Рисунок 3.6.7 – Природные «скульптуры», напоминающие сфинксов в Белой пустыне, Египет (185)

Весьма интенсивно дефляция проявляется в пустынных районах, в которых ветер сдувает слой сухих рыхлых отложений, расположенный над скальными или рыхлыми, но влажными породами. Выдувание приводит к формированию глубоких котловин, как, например, в Ливийской пустыне в Северной Африке, где впадина Каттара площадью около 18 000 км<sup>2</sup> имеет глубину на 134 м ниже уровня моря (рис. 3.6.8).



Рисунок 3.6.8 – Ливийская пустыня (186)



Таких дефляционных впадин и котловин довольно много в различных пустынях. Ветер выдувает мелкие обломки и песок из всех трещин в скалах. Дефляция углубляет также любые искусственные выемки, например, колеи от автомашин, тракторов и т. д. Легко выдуваются лессовые породы, в которых иногда образуются глубокие, до 20-30 м, ущелья.

Корразионное и дефляционное воздействие на здания и сооружения обязательно следует учитывать при строительстве на территориях, где наблюдаются сильные ветры.

### **Пыльные бури и дефляция почв**

Пыльные бури (рис. 3.6.9) возникают при сильном ветре типа суховея (самум, сирокко, хамсин и др.), выдувающим и переносящем на большие расстояния огромные массы песка (песчаная буря) и миллионы тонн пыли и почвенного мелкозема (черные бури). Они наносят большой ущерб, резко ухудшая видимость и загрязняя атмосферу, угрожая здоровью людей (рис. 3.6.10); уничтожают плодородный слой почвы, засыпают посевы, дороги, водоемы.

Ветровой эрозии наиболее подвержены мелкие песчаные и пылеватые частицы размером 0,5-0,1 мм и менее, которые уже при скоростях ветра вблизи поверхности почвы 3,8-6,6 м/с приходят в движение и перемещаются на большие расстояния.



Рисунок 3.6.9 – Пыльные бури имеют различную окраску в зависимости от состава выдуваемых горных пород и почв (187)



Рисунок 3.6.10 – Огромная песчаная буря пронеслась над восточной Австралией и накрыла Сидней 23 сентября 2009 года (188)

Мелкие пылевато-глинистые частицы ( $<0,1$  мм) способны преодолевать расстояние в сотни, а иногда тысячи километров. На аэрокосмических снимках видно, что материал пыльных бурь из Сахары легко преодолевает Средиземное море (рис. 3.6.11), а также прослеживается над Атлантическим океаном вплоть до Северной Америки (рис. 3.6.12). Пыльные бури часто происходят в пустынях Сахары, Аравии, на Ближнем и Среднем Востоке, в Монголии, Китае, в центральных частях США, в пампасах Южной Америки, в Австралии. В Евразии северная граница пыльных бурь – Харьков, Уфа, Оренбург, предгорья Алтая.

*Дефляция почв.* Особенно подвержен ветровой эрозии в виде дефляции верхний почвенный слой. Количество выдуваемого почвенного субстрата в отдельных случаях может достигать 100 тонн с 1 гектара и даже более. Степень проявления ветровой эрозии зависит от скорости ветра, гранулометрического состава почвогрунтов, наличия растительности и других факторов. Так, на легких почвах уже при слабом ветре начинается выдувание частиц и перенос их с пыльными бурями на огромные расстояния. Первая фаза дефляции начинает проявляться при скорости ветра более 5 м/с, когда более мелкие частички почвы (размером 0,1-0,5 мм) поднимаются турбулентными потоками воздуха и движутся скачками над поверхностью земли, а более крупные (размером 0,5-3,0 мм) перекатываются или скользят по поверхности.

Ветровая эрозия почв возникает в степных районах с большими площадями пашни обычно при скоростях ветра 10–15 м/с. Начало пыльной бури связано с относительно высокой скоростью ветра, однако из-за того, что летящие частицы вызывают цепную



реакцию отрыва новых частиц, окончание её происходит при скоростях ветра существенно меньших.

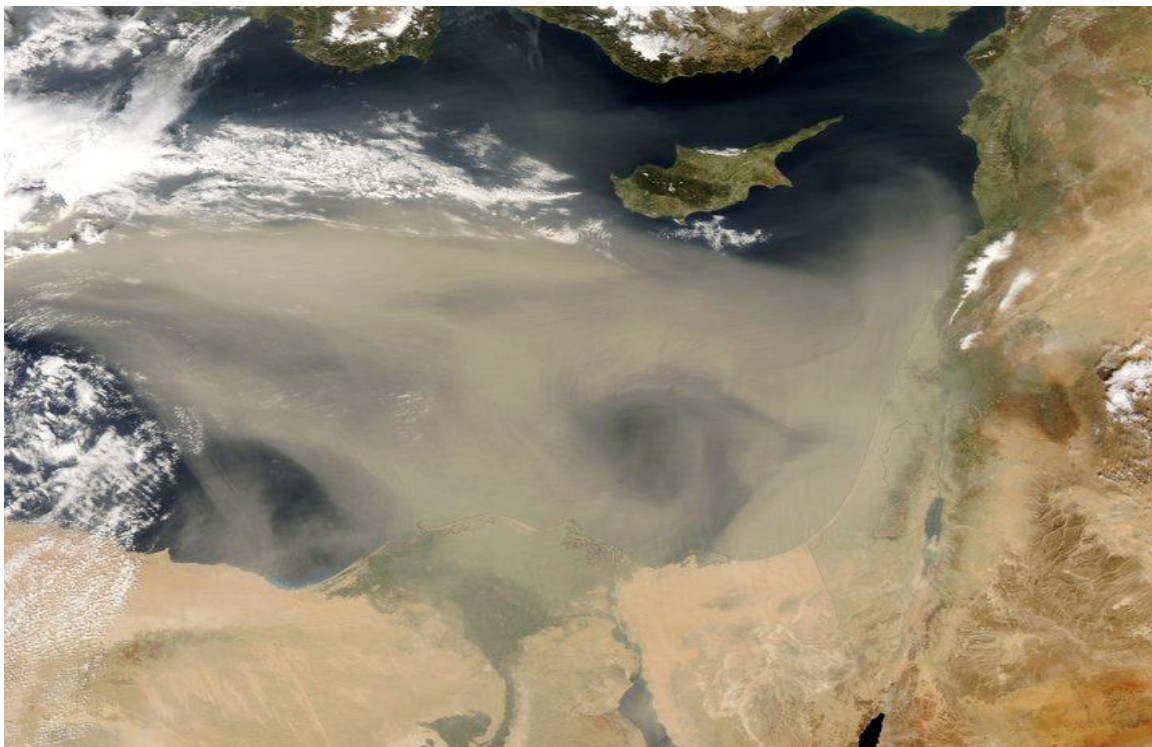


Рисунок 3.6.11 – Пыльные бури над восточным Средиземноморьем (189)

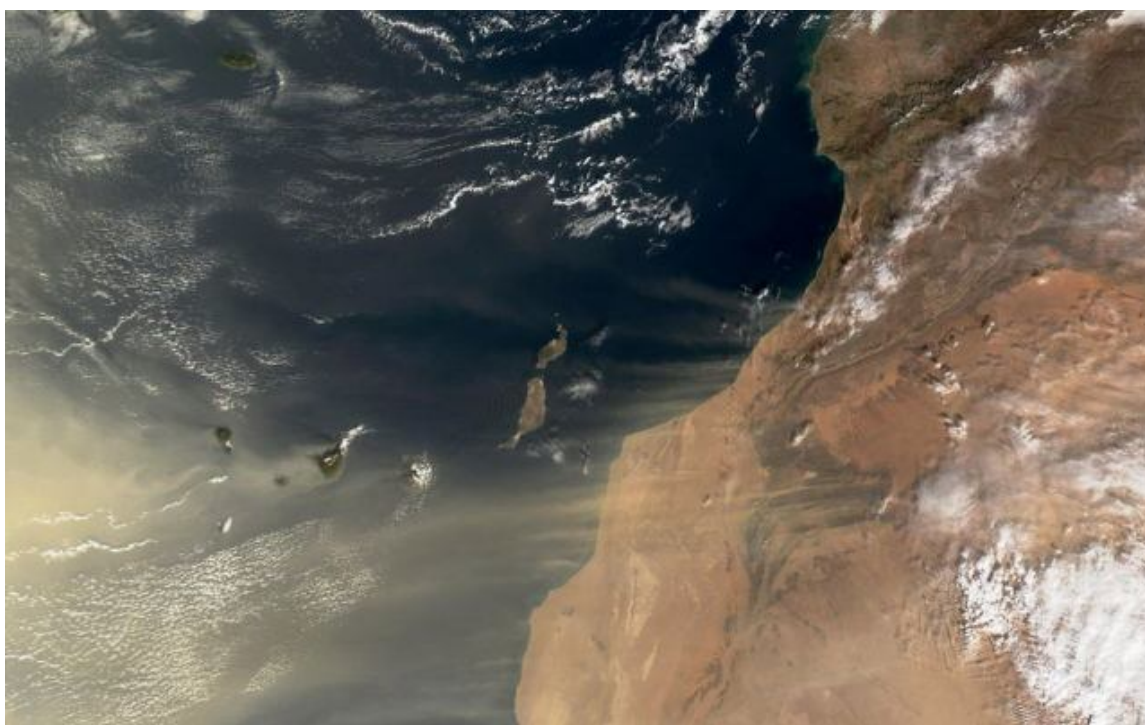


Рисунок 3.6.12 – Перенос песка и пыли из Сахары на Канарские острова и Атлантический океан (190)



Главные факторы, вызывающие дефляцию – это засушливость климата и наличие сильных ветров при отсутствии лесов. Дефляционная податливость почв обусловлена пылеватостью и бесструктурностью пахотного слоя. В наибольшей степени подвержены дефляции карбонатные легкосуглинистые, супесчаные и песчаные почвы, особенно зимой и весной, когда почвы не покрыты растительностью. Практически не подвергаются дефляции тяжелосуглинистые и глинистые почвы, состоящие из агрегатов размером более 1 мм. Ветровая эрозия проявляется в любых условиях рельефа. При расчлененном рельефе наиболее подвержены эрозии возвышенные участки поверхности и подветренные склоны, причем тем больше, чем круче склон. Разрушительная сила ветра на возвышенностях и в депрессиях значительно больше, чем на равнинах.

Водная и ветровая эрозии развиваются в зоне недостаточного увлажнения с чередованием влажных и засухоустойчивых лет или сезонов по следующей схеме: смыв – осушение почвы – выдувание, выдувание – переувлажнение почвы – смыв. Одновременное развитие водной и ветровой эрозий вызывает особенно большие нарушения почвенного покрова.

Кроме природных факторов причинами эрозии почв является также низкий уровень земледелия и скотоводства. Глубокая распашка, а также вытаптывание скотом дёрна оголяет почву и делает верхний почвенный слой уязвимым как для ветра, так и для воды. В результате происходит механическое уничтожение верхнего плодородного приповерхностного гумусово-аккумулятивного горизонта, для восстановления которого требуются десятки и сотни лет. Разведение человеком домашних овец и коз привело к исчезновению лесов и лугов в Северной Африке, на Ближнем Востоке и во многих других районах мира. Мелкие копытные с необыкновенной быстротой истребили всю древесную и травяную растительность и буквально «выбили копытами» весь поверхностный почвенный слой, превратив степные и лесостепные ландшафты в пустынные. На склонах гор и холмов, оставшихся без дернового «сдерживающего» почвенного горизонта, начались процессы эрозии с деградацией экосистем. Для защиты природной среды в некоторых странах (Новая Зеландия, Кипр) приняты даже специальные законы, гласящие: «Даже единственная коза, оставшаяся на свободе, представляет национальную опасность!».

Наибольший ущерб сельскому хозяйству и экологии наносят пыльные бури, происходящие ранней весной и летом, которые приводят к уничтожению посевов, снижению почвенного плодородия, загрязнению атмосферы, занесению лесозащитных полос и мелиоративных систем. Очень часто пыльные бури связаны с нерациональной хозяйственной деятельностью человека, а именно — массовой распашкой земель без проведения почвозащитных мероприятий. Примерами наиболее сильных антропогенных пыльных бурь могут служить, так называемый, «Dust Bowl (пыльный котёл)» в США в 1930-е годы (рис. 3.6.13) и «Черные бури» в СССР в 1960-е годы, после «освоения целинных и залежных земель» в Казахстане.

По имеющимся современным оценкам, ветровой эрозии подвержено 34 % суши Земли (рис 3.6.14).

Территория Украины входит в Южно-европейскую область пояса активного проявления дефляции почв, в пределах которого выделена Черноморско-Приазовская провинция, характеризующаяся сильно развитой ветровой эрозией: южная часть Донецкой области, Херсонская область, юг Николаевской и Одесской областей, Крым.



Рисунок 3.6.13 – Сельхозтехника, засыпанная пылью, Южная Дакота, США (1936 г.) (191)

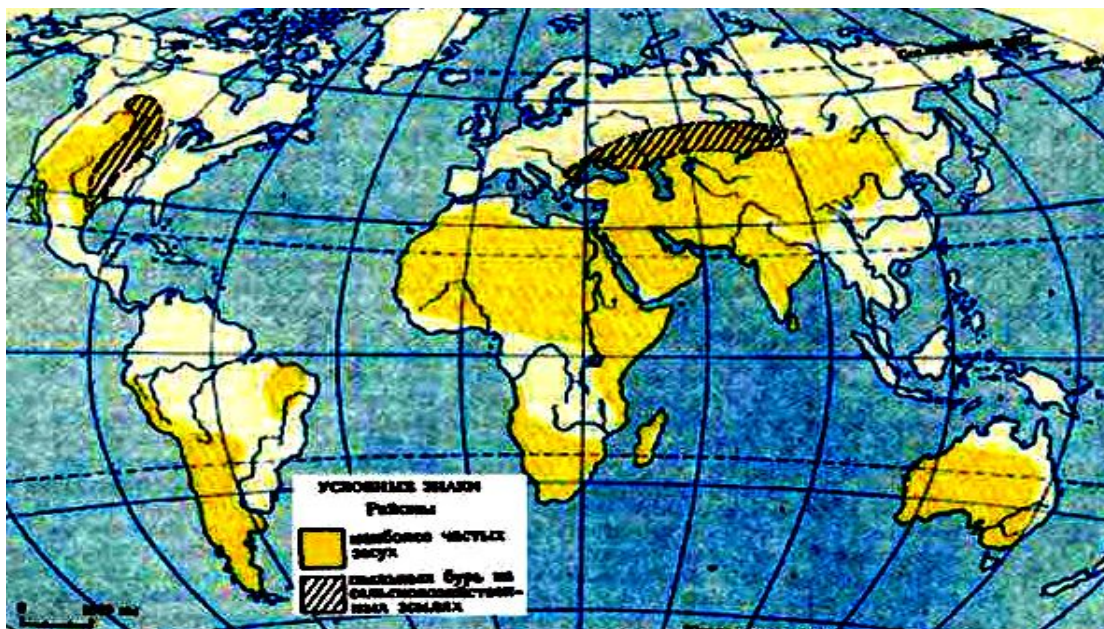


Рисунок 3.6.14 – Территории подверженные ветровой эрозии (192)

Ежегодно в Украине водной и ветровой эрозией выносятся в среднем 15 т с гектара, а по всей территории – 740 млн т плодородного грунта, содержащего около 24 млн т гумуса. Основной причиной такого положения является чрезмерная распашка земель – 81 % всех сельскохозяйственных угодий, составляющей около 58 % площади

земельного фонда. Хотя по экологическим нормам землепользования соотношение площади пашни и экологически устойчивых угодий (сенокосы, пастбища, леса) должно быть не менее единицы. Вред, который наносит ветровая эрозия сельскому хозяйству Украины, состоит преимущественно в выдувании и засыпке посевов озимых культур, а также в изъятии из поверхностного слоя части почвенного материала, что приводит к значительным потерям гумуса и питательных веществ, а в конечном итоге к снижению плодородия почв.

Мероприятия по борьбе с эрозией почв должны быть направлены в первую очередь на рациональное землепользование с целью недопущения оголения почвы. Растения способствуют снижению скорости ветра в приземном слое, скрепляют частицы почвы корнями (особенно многолетние травы). Поэтому борьба с ветровой эрозией и направлена на снижение скорости ветра путем создания лесозащитных полос и на увеличение сопротивляемости почв дефляции путем посева многолетних трав.

Перед началом любого строительства верхний гумусированный почвенно-растительный слой обязательно должен быть срезан, с целью его сохранения и дальнейшего использования при рекультивации земель, для сельскохозяйственных или декоративных (клумбы, парки и др.) потребностей.

### **3.7 Водная эрозия. Овраги**

**Распространение водной эрозии, её разновидности и факторы развития. Способы борьбы с водной эрозией почв. Борьба с оврагами.**

*Водной эрозией* называется процесс разрушения верхних слоев горных пород, почв и склоновых грунтов атмосферными осадками, поверхностным стоком, временными водными потоками, ручьями или реками. Этот природный процесс обусловлен разрушением преимущественно ливневыми осадками и дальнейшим смывом, чаще всего верхних почвенных горизонтов. При сельскохозяйственном освоении территорий масштабы эрозии резко возрастают, и она становится крупнейшим фактором деградации пахотных и пастбищных угодий. На Земле водной эрозии подвержено 31 % суши.

Особенно сильно развивается эрозия в горах, где с крутых склонов буквально на глазах смывается почва, превращая их в голые скалы. Из-за ливневого характера дождей, наиболее подвержен водной эрозии почвенный покров в тропических районах. Ливневые дожди вызывают плоскостной смыв верхних горизонтов почвенного субстрата, разрушают всю почвенную толщу и нижележащие горные породы, приводят к образованию промоин, рытвин, оврагов (рис. 3.7.1). В результате водной эрозии страдают посевы (рис. 3.7.2), уничтожаются значительные площади ценных сельскохозяйственных угодий и резко снижается их плодородие, сильно сокращается влагообеспеченность полей. Из-за выноса частиц почвы и подстилающих грунтов происходит заиление рек и водохранилищ, увеличивается расчлененность территории растущими ежегодно оврагами, ухудшается гидрологический режим местности. Эрозия берегов угрожает зданиям и сооружениям, расположенным вблизи рек.

Даже в развитых странах с высокой культурой земледелия эрозия до сих пор остается в списке главных экологических угроз. Так, в США за последние 170 лет было



потеряно около 100 миллионов гектаров пашни, и вплоть до последнего времени ежегодные потери от эрозии составляли до 200 тысяч гектаров земель. Особенно впечатляют масштабы эрозии в развивающихся странах: если в среднем с 1 гектара пашни в США смывается до 10 тонн плодородного субстрата, то в Индии ~ 75 тонн с 1 гектара, в Китае – до 251 тонны, а в горных районах Эквадора – до 564 тонн.

В Украине *водная эрозия* наиболее распространена на правобережьях Днепра, Северского Донца, Десны, Днестра и их притоков, на Волыно-Подольской и Донецкой возвышенностях, в предгорьях и горах Крыма и Карпат. Наиболее устойчивы к *водной эрозии структурированные* черноземы, а наименее устойчивы – дерново-подзолистые почвы и сероземы.



Рисунок 3.7.1 – Разрушение склонов водной эрозией в тропиках, Венесуэла (193)

По преобладающим механизмам воздействия на почвы и горные породы водную эрозию подразделяют на капельную, плоскостную (или поверхностную), линейную – овражную и речную (глубинную и боковую). В зависимости от вида поверхностного стока водную эрозию также подразделяют на эрозию за счет действия талых, дождевых или ирригационных вод.

*Капельная эрозия* представляет собой нарушение почвенного слоя или открытых горных пород под ударами капель дождя. Почвенные структуры разрушаются под действием кинетической энергии капель атмосферных осадков или дождевальными машинами, а комочки почвы разбрасываются в стороны. При падении грунтовые частицы попадают на водную плёнку или слой воды на земной поверхности, что способствует их дальнейшему перемещению. На склонах происходит движение перемещенных частиц вниз на большие расстояния. Эта разновидность водной эрозии имеет основное распространение во влажных тропиках и субтропиках.

*Плоскостная (поверхностная) эрозия* – это равномерный смыв почвогрунтового материала со склонов, в результате чего склоны становятся более пологими. В засушливых районах даже незначительные осадки имеют существенные последствия. После дождя или в результате снеготаяния происходит насыщение водой верхнего почвенного слоя, и излишняя вода практически сплошным неглубоким потоком стекает вниз по склонам, увлекая с собой частицы грунта. Такой смыв, в результате которого промоины не образуются, называется плоскостной эрозией. Условно считается, что этот процесс осуществляется сплошным движущимся слоем воды, хотя обычно плоскостную эрозию производит сеть мелких временных водных потоков. Поверхностная эрозия приводит к образованию смытых склонов и намывных почв у их подножия и на дне балок,

а в течение длительного времени – к формированию делювиальных отложений. Однако, когда вода имеет концентрированный сток, в ложбинах на склонах начинают формироваться небольшие борозды, а затем овраги.

*Линейная эрозия* в отличие от поверхностной происходит на относительно узких участках земной поверхности и приводит к расчленению поверхности земли и образованию различных эрозионных форм – промоин, оврагов, балок, долин (рис. 3.7.3). Линейная эрозия протекает быстрее, чем плоскостная, и как только образуется овражная сеть, начинается активное расчленение земной поверхности. В оврагах формируются небольшие водотоки, которые сливаются и переносят твердые осадки в крупные реки. К этому виду относят также речную глубинную и боковую эрозию, производимую постоянными водотоками.

*Глубинная (донная) эрозия* – это углубление дна русла водотока. Донная эрозия направлена от устья вверх по течению и непрерывно продолжается до достижения дном реки уровня базиса эрозии. *Боковая эрозия* – это подмыв и разрушение берегов (рис. 3.7.4). В каждом постоянном и временном водотоке (овраге, ручье, реке) всегда присутствуют обе формы эрозии, но на первых этапах развития водотока преобладает глубинная, а на последующих этапах – боковая. По степени проявления различают естественную (нормальную, геологическую) и ускоренную (антропогенную) эрозии почв и горных пород. Первая протекает медленно и не сопровождается заметным снижением плодородия почвы и преобразованиями рельефа, вторая вызывается нерациональной хозяйственной деятельностью человека.

*Причины и факторы водной эрозии горных пород и почв.* Развитие водной эрозии зависит от ряда факторов, в числе которых климат, характер рельефа; гранулометрический состав, структура почв и нижележащих грунтов; наличие и характер растительного покрова; антропогенное воздействие.

Рисунок 3.7.2 – Водная эрозия угрожает посевам сельскохозяйственных культур (194)



Климатические и погодные условия оказывают прямое влияние на развитие эрозионных процессов в зависимости от количества и интенсивности дождевых осадков и величины капель дождей, мощности снегового покрова и интенсивности снеготаяния; колебаний температуры воздуха, силы ветра.

Рельеф местности также служит существенным фактором развития водной эрозии. Длина и крутизна склонов, величина площади водосбора, форма поверхности склона определяют степень развития эрозионных процессов: чем протяженнее склон и больше

его крутизна, тем на большей площади и интенсивней развивается эрозия. Количество смываемой почвы также зависит от формы склонов: на выпуклых – оно больше, на вогнутых – меньше. Часто склоны имеют сложную форму: в одном месте – выпуклую, в другом – прямую или вогнутую, соответственно, одновременно может происходить как размыв поверхности, так и отложение материала на склоне.

Существенно влияют на эрозию также состояние и особенности почв. Хорошо структурированные почвы легко- и среднесуглинистого состава отличаются рыхлостью, хорошей водопроницаемостью, поэтому их смыв и размыв резко сокращаются. Напротив, на бесструктурных, распыленных, или наоборот, уплотненных почвах тяжелого механического состава вода медленно впитывается, накапливается на поверхности и стекает в пониженные места рельефа, при этом вызывая размыв почвы.

Весьма способствует развитию водной эрозии уничтожение древесной и кустарниковой растительности.

В результате водной эрозии осадочных пород, содержащих растворимые соли в воду попадают как обломочные продукты разрушения, так и растворимые, вызывая засоление поверхностных и подземных вод.

Эрозия крайне негативно сказывается на плодородии почвы, физически уничтожая ее, поскольку почва по определению – это поверхностный плодородный слой земной коры, пригодный для произрастания растений. Поскольку водная эрозия в первую очередь угрожает землям сельскохозяйственного назначения, то защитные мероприятия связаны с предотвращением её развития именно на этих землях. Их можно разделить на три основные группы: почвозащитные, агротехнические и лесомелиоративные.

*Почвозащитные мероприятия.* Необходимо правильно распределить состав возделываемых культур, их чередование и способы обработки почвы. При почвозащитных севооборотах исключают пропашные культуры, так как они почти не защищают почву от смыва, особенно весной и в начале лета, и увеличивают посевы многолетних трав, которые хорошо защищают почву от разрушения в эрозионно-опасные периоды и служат одним из лучших способов восстановления эродированных почв.

*Агротехнические противоэрозионные мероприятия.* Наиболее простыми, но эффективными мероприятиями по регулированию поверхностного стока талых вод являются *вспашка, культивация и посев сельскохозяйственных культур поперек склона*, по возможности параллельно основному направлению горизонталей. Один из наиболее эффективных почвозащитных приемов на склоновых землях – замена отвальной вспашки на обработку почвы без опрокидывания пласта.

*Лесомелиоративные мероприятия* включают создание защитных лесных полос различного назначения: ветрозащитных, создаваемых по границам полей; полезащитных, закладываемых поперек склонов для задержания поверхностного стока; приовражных и балочных лесных насаждений по откосам и днищам балок и оврагов; водозащитных лесных насаждений вокруг водоемов, озер, каналов; лесных насаждений общего природоохранного назначения на землях, непригодных для земледелия.

Борьба с оврагами производится системой мер, проводимых как на водосборе, так и непосредственно на овраге. Они предусматривают устранение причин образования оврагов, так как направлены на уменьшение поверхностного стока воды. Кроме посадки приовражных лесополос, эффективными средствами являются укрепление вершин и дна инженерными сооружениями с одновременным облесением приовражья, а в последующем и всего оврага.





Рисунок 3.7.3 – Сильная линейная (овражная) эрозия почвы и подстилающих грунтов (195)



Рисунок 3.7.4 – Боковая эрозия временных водотоков, Внутренняя Монголия (196)

*Инженерные противоэрозионные мероприятия.* При выборе комплекса противоэрозионных мероприятий, направленных против роста оврагов, как процессов, наиболее опасных для инженерных объектов, и при устройстве защитных сооружений следует руководствоваться требованиями ДБН В.1.1-24-2009 «Захист від небезпечних геологічних процесів».

В первую очередь необходимо определить стадию развития оврага. Выделяют следующие стадии образования и роста оврагов:



- 1 – формирование промоин и рытвин на поверхности земли (рис. 3.7.5);
- 2 – активный рост, врезка вершины оврага, его углубление, развитие боковых ответвлений (рис. 3.7.6);
- 3 – выработка профиля равновесия, прекращение углубления оврага (рис. 3.7.7);
- 4 – затухание эрозионных процессов, зарастание оврага травой, деревьями и кустарником, и преобразование оврага в балку (рис. 3.7.8)



а



б



в



г

Рисунок 3.7.5 – Ранние стадии развития оврагов (197): а – мелкие промоины на поле; б – размыв грунтовой дороги; в – глубокие промоины; г – глубокая рытвина на склоне – начало будущего оврага





а



б

Рисунок 3.7.6 – Овраги в стадии роста – активно растущие овраги с V-образным профилем, Днепропетровск (198)

В стадии роста овраги имеют, как правило, V-образный профиль с крутыми, нередко почти вертикальными склонами. По мере выноса из оврага материала и его стабилизации крутизна склонов уменьшается, профиль оврага становится U-образным, корытообразным. А при преобразовании оврага в балку склоны становятся еще более пологими (рис. 3.7.7, 3.7.8).





а



б

Рисунок 3.7.7 – Виды оврагов – а, б. Относительно стабильные затухающие овраги (199)

На рис. 3.7.7 б хорошо просматривается тальвег оврага (от нем. Talweg, означающего путь долины) – линия вдоль русла водотока, оврага и т.п., соединяющая наиболее низкие участки дна.





Рисунок 3.7.8 – Балка с пологими склонами. Начинается у фермы села Балабановка и заканчивается у реки Сухой Мерчик. (Харьковская область, Богодуховский район) (200)

Следует отметить, что в некоторых случаях рост оврагов далеко не всегда ограничивается разрушением сельхозугодий или дорог, а может принять катастрофический характер, с разрушением зданий, сооружений и эвакуацией населения (рис. 3.7.9).

Противоэрозионные меры должны предусматривать прекращение плоскостного смыва почвы, стабилизацию склонов, прекращение роста вершины и отвершков, снижение активного размывания тальвегов оврагов, а в отдельных случаях и ликвидацию оврагов.

В состав сооружений инженерной защиты территорий и объектов от эрозионных процессов входят: водоудерживающие, водонаправляющие и донные сооружения.

*Водоудерживающие сооружения* должны обеспечить отвод талых и дождевых вод, перехват и замедление поверхностного стока. К ним относятся водоудерживающие валы, которые применяют на склонах крутизной до  $10^\circ$  выше вершин оврагов. Террасы применяют на склонах крутизной от  $7^\circ$  до  $35^\circ$ . Для отвода поверхностного стока поверхность террас должна иметь продольный уклон не более  $3^\circ$ .

*Водонаправляющие сооружения* применяют для отвода и распределения на склонах и в тальвегах оврагов, балок, котловин поверхностных и выклинивающихся грунтовых вод. К ним относятся водонаправляющие валы и канавы-распределители. Канавы рекомендуется устраивать трапецеидального поперечного сечения.

*Водосбросные сооружения* применяют для сброса талых и дождевых вод на дно оврагов, балок, котловин. Кроме того, они являются средством укрепления вершин оврагов, а в комплексе с укреплением их дна позволяют задержать развитие линейной эрозии и стабилизировать нижнюю зону откосов оврагов. Водосбросные сооружения



применяют открытого типа (быстроходы, перепады, водоспуски в виде каналов) и закрытые (шахтные, трубчатые водосбросы). В нижних бьефах водосбросов применяют гасители энергии водных потоков (водобойные колодцы и стенки, пороги).



Рисунок 3.7.9 – Гигантский овраг в Сальвадоре (201)

В октябре 2011 года геологи из Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов (MARN) и члены гражданской обороны прибыли в деревню Сан-Антонио в муниципалитете Комасагуа, департамента Либертад, с тем чтобы проверить ситуацию с образованием оврага. Овраг появился из-за эрозии земли после девяти дней непрерывных дождей. Глубина оврага около 100 м и длина 500 м. Люди, которые жили



рядом с тем местом, где разверзлась земля, были немедленно эвакуированы, по крайней мере, 196 человек.

*Донные сооружения* применяют для предупреждения размывов дна, задержки продуктов выноса и повышения базиса эрозии, которые способствуют снижению активности эрозионных процессов в оврагах. Донные сооружения применяют следующих видов: плотины, донные пороги и перепады, сквозные плотины из трех-четырех рядов свай с расположением их в плане в шахматном порядке.

*Агролесомелиорация.* Мероприятия агролесомелиорации включают: лесонасаждения в нижних частях склонов и у бровок балок и оврагов, на открытых территориях, прилегающих к склонам; берегоукрепительные древесно-кустарниковые насаждения по берегам рек и вокруг водоемов. Посев многолетних трав или трав без других вспомогательных средств защиты допускается на склонах (откосах) крутизной до 35°, а при большей крутизне (до 45°) – с пропиткой почвы вяжущими материалами. Посадка деревьев допускается на склонах (откосах) крутизной до 15°. При крутизне склонов более 25° до 35° рекомендуется делать их более пологими или террасировать с помощью промежуточных берм.

*Ликвидация оврагов.* Частичное или полное засыпание оврагов или их замывание применяют вместе с другими видами мелиорации. Засыпку оврагов, их верховых участков и отвершков грунтом следует предусматривать при их глубине до 15 м. Замывание оврагов с применением средств гидромеханизации следует предусматривать при их глубине до 25 м.

При разработке проектов ликвидации оврагов следует выполнять прогноз изменения уровня подземных вод. В проекте засыпки оврагов необходимо предусматривать сооружения по отводу поверхностных вод (нагорные каналы и т.п.) и подземных вод (линейные дрены по тальвегу), как профилактические меры, снижающие вероятность развития подтопления.

### **3.8. Речная эрозия.**

#### **Геологическая и эрозионная деятельность рек, стадии их развития. Способы защиты от негативных последствий речной эрозии**

*Реки* – это постоянные водотоки, существующие только при условии их непрерывного водного питания. Источниками питания рек служат атмосферные осадки, талые воды ледников, озера или подземные воды. Количество выпадающих осадков на территории, где протекает река должно быть больше, чем испарение. Наиболее густая речная сеть расположена в зонах влажного климата, значительно реже она в аридной зоне – степи, ещё меньше рек в полупустыне, а в пустынях реки не могут образоваться. В пустыне реки протекают, если область питания расположена за ее пределами. Так, крупнейшая африканская река Нил, протекающая через Сахару, имеет область питания во влажных тропических лесах.

*Эрозионная деятельность рек* происходит в речных долинах, которые и создаются этой деятельностью. В развитии реки выделяют три (иногда четыре) стадии: юность (молодость), зрелость и старость.

В период юности река течет по неровному горному рельефу. Скорость движения воды на разных участках в целом довольно высока, часто встречаются пороги и водопады (рис. 3.8.1). Река интенсивно размывает горные породы ложа русла, из которых образуются валуны, галька. Эти обломки все больше измельчаются, окатываются и преобразуются в гравий, крупный песок. На этой стадии развития реки происходят усиленные процессы глубинной (донной) эрозии, которые приводят к интенсивному углублению русла. Боковая эрозия в это время почти не проявляется, энергия потока в основном направлена на разрушение ложа и перенос продуктов разрушения. Коэффициент извилистости реки ( $K$ ) на этой стадии минимален ( $K$  – отношение длины какого-либо участка между двумя точками по руслу реки к расстоянию между этими же точками по прямой линии). Быстрое углубление русла приводит к образованию долин, имеющих V-образную форму (рис. 3.8.2).

Постепенно скорость течения воды снижается, наряду с донной эрозией появляется, а затем начинает преобладать боковая эрозия, т.е. размыв берегов. В среднем и нижнем течении реки, как правило, глубинная эрозия сменяется боковой эрозией. Это приводит к расширению ее долины, которая приобретает U-образную форму, формируются прирусловые отмели. Река переходит в стадию зрелости, например, Днепр, который образует на территории Украины большую излучину, обращенную на восток, что вдвое увеличивает путь по Днепру из центра Украины к Черному морю: расстояние от Киева до устья Днепра по прямой линии – 450 км, по реке – 950 км. Для стадии зрелости рек характерна ассиметричная форма речных долин, возникновение которой обусловлено неравномерной деятельностью боковой эрозии. Крупные реки, текущие в меридиональном направлении с севера на юг, подмывают правый, т.е. западный берег, который становится крутым, часто обрывистым, а восточный, как правило, низкий и пологий состоит из нескольких террас – относительно горизонтальных площадок. Эта закономерность связана с вращением Земли, при котором возникает «кориолисово ускорение». Его горизонтальная составляющая направлена в Северном полушарии вправо по отношению к направлению движения, а в Южном – влево.



Рисунок 3.8.1 – Юность горной реки (202)



Рисунок 3.8.2 – Молодость реки. Каньон реки Котауаси, Перу. Глубина каньона из-за интенсивной донной эрозии достигает 3535 метров (203)

В конце своего развития река переходит в стадию старости. Скорость течения реки снижается, а коэффициент извилистости  $K$  значительно увеличивается – река начинает петлять, заполняя аллювиальными отложениями свою же долину. На стадии старости появляется много меандров (рис. 3.8.4) – изгибов реки, возникающих из-за того, что водный поток на поворотах размывает вогнутый берег, а на выпуклый выносит и откладывает обломочный материал, создавая отмели и косы. Русло блуждает по долине, срезая меандры и оставляя срезанные рукава и старицы – изолированные от реки озера – бывшие меандры (рис. 3.8.5). Поперечный профиль долины преобразуется в трапецевидный с широким, плоским дном. Уклон русла реки является минимально необходимым для ее течения. В период старости реки в ее долине образуется широкая пойма (пойменная терраса) (рис. 3.8.6) – часть долины, заливаемая в половодье и возвышающаяся над уровнем воды в реке в маловодный меженный период. Ближе к устью происходит образование многочисленных рукавов, по которым вода течет параллельно основному руслу, и возникают обширные аллювиальные равнины.

Перенос рекой обломков горных пород осуществляется четырьмя способами: волочением их по дну, скачкообразно над дном, во взвешенном состоянии в толще воды и в растворенном виде (при растворимости размываемых пород). При этом обломки измельчаются и окатываются, а также происходит сортировка их по размеру и весу. Обломочный материал, принесенный рекой и отложившийся в речной долине, называется *аллювий*. Аллювиальные отложения, слагающие речные террасы и пойму классифицируют по крупности обломков: валуны, галечник, характерные для быстрых горных рек; гравий, песок – для русел равнинных рек; суглинки, торфяные и илистые отложения – для стариц и рукавов с медленным течением.





Рисунок 3.8.3 – Зрелость реки. Днепр в г. Киеве (204)



Рисунок 3.8.4 – Меандры на русле старой реки (205)

Меандры – (от греч. Μαίανδρος – древнее название извилистой реки Большой Мендерес в Малой Азии, Турция) – плавные изгибы русла равнинной реки.





Рисунок 3.8.5 – Старицы – изолированные озера, имеющие часто С-образную форму – бывшие меандры в пойме реки (206)

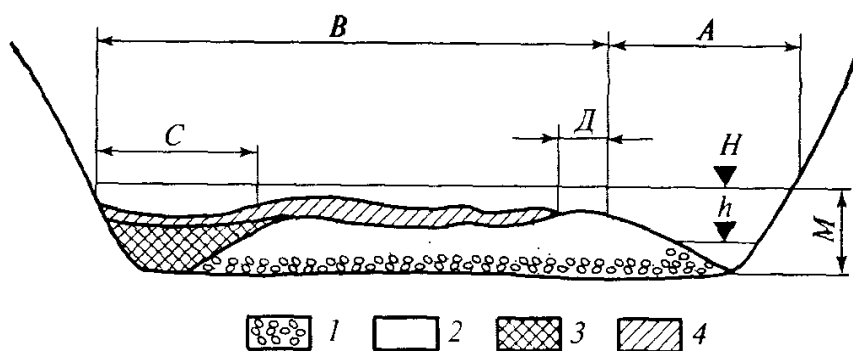


Рисунок 3.8.6 – Схема строения поймы реки (по Е.В. Шанцеру) (207): А – русло; В – пойма; С – старица; Д – прирусловой вал; Н – уровень половодья;  $h$  – уровень межени; М – мощность аллювия (русловой аллювий: 1 – галька, гравий, крупный песок; 2 – мелкий и пылеватый песок; аллювий стариц: 3 – торф; пойменный аллювий: 4 – суглинок)

При инженерно-геологической оценке речных долин для использования в строительных целях, важно их геоморфологическое строение и грунтовые условия (рис. 3.8.7, 3.9.8). Наиболее благоприятными для строительства являются коренные

породы и эрозионные террасы, значительно сложнее решать вопросы строительства на аккумулятивных наносах, а особенно пойменных отложениях.



Рисунок.3.8.7 – Долина реки с террасами (208)

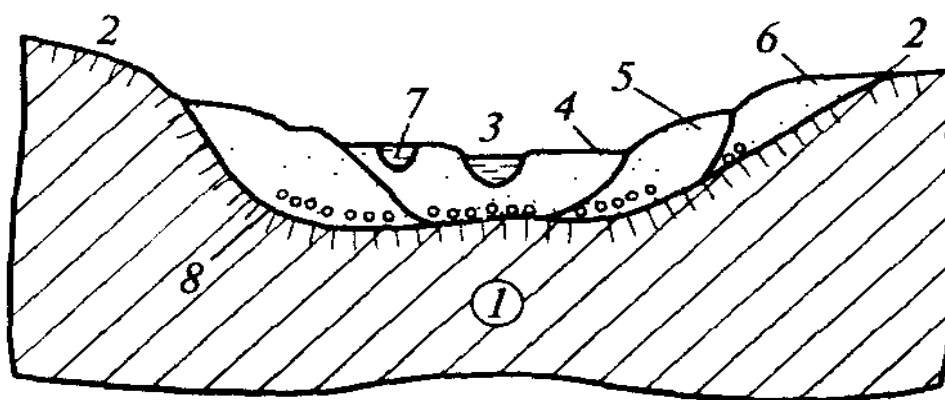


Рисунок 3.8.8 – Элементы строения долины реки (219): 1– коренные породы; 2– склон; 3– русло; 4– пойма; 5– первая надпойменная терраса; 6– вторая надпойменная терраса; 7– старица; 8– дно долины

*Защита от речной эрозии.* Меры борьбы с эрозией рек подразделяются на профилактические и инженерные. К профилактическим мерам относят различные способы предупреждения негативных последствий опасных эрозионных процессов: установление запретной полосы, исключаящей строительство в зоне интенсивной боковой эрозии; запрещение добычи стройматериалов из речных русел, резко активизирующих глубинную эрозию; проведение регулярных режимных наблюдений за интенсивностью развития боковой эрозии и т. д.



Инженерные берегозащитные мероприятия включают строительство сооружений и укреплений берегов (каменная наброска с перевязкой каменных глыб металлическим тросом или сетками, устройство набережных, защитных стенок (рис. 3.8.9), укладка бетонных плит т. д.). Иногда применяют весьма оригинальные способы защиты от размывания берегов (рис. 3.8.10). Для защиты территории от наводнений в период паводков возводят земляные дамбы и регулирующие плотины, устраивают водохранилища.



Рисунок 3.8.9 – Защитная стенка из монолитного бетона (210)

На протяжении уже более 100 лет широко используются инженерные сооружения из коробчатых габионов и габионных матов. Основная область их применения – борьба с водной эрозией грунтов (не только речной, но также оползневой, селевой, овражной, склоновой и т.д.). Первое сооружение из габионов, построенное в 1894 году в Италии на реке Рено, функционирует до сих пор. В настоящее время производят несколько типов таких конструкций:

*Габионы* – массивные конструкции из металлической сетки двойного кручения, заполненные камнем. Могут изготавливаться в форме параллелепипедов или цилиндров. Применяются для защиты от эрозии любых типов в качестве надежных инженерных сооружений: подпорных стенок, морских и речных укреплений берегов и т.д. (рис. 3.8.11); *Матрацы Рено* – плоские конструкции из сетки двойного кручения в форме параллелепипеда малой высоты и большой площади, заполненные камнем. Применяются для облицовки каналов и дамб, крепления опор мостов, ландшафтных работ, защиты трубопроводов и др.;

*Системы Террамеш* – системы армирования грунта, которые состоят из лицевой поверхности и панелей из сетки двойного кручения, укладываемых в тело отсыпаемой насыпи.

В любом случае при устройстве защитных сооружений следует руководствоваться требованиями ДБН В.1.1-24-2009 «Захист від небезпечних геологічних процесів».



Рисунок 3.8.10 – Защита от размыва берегов рек в США (в 1950-70 гг.) (211)

С помощью кузовов старых автомобилей жители США укрепляли и предохраняли от эрозии берега рек в ряде штатов. Подобная практика, уже не используется лет тридцать, однако метод оказался действенным – продукция автопрома позволила избежать эрозии берегов. Такой способ сохранения окружающей среды в США получил название Detroit Riprap (Детройтская насыпь).



Рисунок 3.8.11 – Набережная укрепленная габионами (212)

### 3.9 Абразия

#### **Распространение абразии. Морфология морского берега. Виды и факторы абразии. Способы защиты от её негативных последствий**

*Абразия* (от лат. abrasio – соскабливание, сбривание) – это процесс механического разрушения горных пород и переноса обломков прибойными волнами и течениями в береговой зоне океанов, морей, озёр, водохранилищ. Абразия изменяет очертания береговой линии водоемов, постепенно отодвигая ее в сторону суши. Основную разрушительную работу совершает прибой и в меньшей степени различные течения (прибрежные, донные), а также приливы и отливы. Воздействие процесса абразии на горные породы, слагающие берега, проявляется не только на земной поверхности, но и под водой до глубины нескольких десятков метров, а в океанах до 100 м и более.

Длина абразионных участков на берегах всех водоёмов земного шара ~ 400 000 км, что составляет 51 % их общей длины. Весьма интенсивно абразия проявляется в зоне прибоя. В среднем при размыве прибрежных уступов (клифов) в водоёмы поступает 3,45 млрд м<sup>3</sup>/год обломочного материала, а при размыве прибрежных террас (бенчей) – вдвое больше – 7,4 млрд м<sup>3</sup>/год. Образующиеся при абразии галька, гравий, песок слагают подводные аккумулятивные террасы, а также надводные и подводные формы рельефа – косы, пересыпи и др.

Абразия берегов представляет значительную угрозу для жилых и промышленных зданий, расположенных на прибрежных территориях, железных и автодорог и др. Морская абразия сокращает полезную площадь приморских городов (Одесса, Ялта и др.), активизирует развитие опасных геологических процессов, в первую очередь оползней и обвалов.

*Морфология морского берега.* Воздействие абразии приводит к формированию характерных форм рельефа берегов и образованию обломочных отложений. Процесс абразии протекает следующим образом. Ударяя о берег, волны постепенно вырабатывают в его основании углубление – волноприбойную нишу, над которой нависает карниз. По мере увеличения этой ниши карниз обрушивается под действием силы тяжести, обломки оказываются в зоне прибоя и постепенно превращаются в гальку, а затем в гравий и песок. В типичном профиле побережья моря в береговом склоне выделяют отвесный береговой уступ – *клиф* (англ. cliff – обрыв) (рис. 3.9.1), образующийся в результате обрушения волноприбойной ниши. Постепенно в нижней части уступа начинает формироваться новая волноприбойная ниша, благодаря которой в определенный момент вновь обрушиваются вышележащие горные породы (рис. 3.9.2).





Рисунок 3.9.1 – Клиф – скалы Мохер на побережье Ирландии (213)



Рисунок 3.9.2 – Обрушение береговых скал при размыве волноприбойной ниши (214)

Клиф в результате этих процессов постепенно отступает в сторону суши, оставляя за собой слабонаклоненную в сторону моря подводную абразионную террасу – *бенч* (англ. bench – терраса, уступ). Бенч целиком состоит из скальных пород или местами покрывается тонким слоем продуктов разрушения берега. Эти террасы присутствуют на многих абразионных берегах вблизи мысов, где условия неблагоприятны для аккумуляции наносов. Между клифом и бенчем часто образуется неширокая полоса, состоящая из обломочных отложений, заливаемая во время приливов и штормов – *пляж* (франц. plage – пологий морской берег). Пляж – это простейшая береговая форма аккумулятивного рельефа, которая формируется под действием прямого и обратного прибойного потоков. Часть обломочного материала сносится за пределы абразионной террасы и, откладываясь на подводном склоне, создает ее продолжение – подводную аккумулятивную террасу. Более крепкие породы коренного берега иногда сохраняются в виде отдельных скал – останцев (рис. 3.9.3). По морфологии выделяют пляжи полного профиля в виде пологого вала из песка, гравия, и пляжи неполного профиля, в виде скопления маломощных наносов, примыкающих к подножию клифа. Чем шире становятся бенч и пляж, тем больше расширяется полоса прибрежного мелководья, ослабляется сила прибоя и, тем самым абразия понемногу сама препятствует своему дальнейшему развитию, клиф отступает все медленнее и процесс абразии постепенно прекращается.

Откладывающийся под водой материал (песок, гравий или обломки раковин моллюсков) на глубинах первых метров могут образовывать подводный аккумулятивный вал. Иногда этот подводный вал, увеличиваясь, выступает над поверхностью воды параллельно берегу. Такие валы называются *барами* (франц. barre – преграда, отмель). Формирование бара может приводить к отделению прибрежной части от основной акватории морского бассейна – так образуются *лагуны*. Лагуна (от лат. lacus – озеро) представляет собой неглубокий естественный водоем, отделённый от моря баром или соединяющийся с морем узким проливом

Выделяют следующие *основные виды абразии*: *механическая абразия* – это разрушение береговых пород ударами прибойных волн, возникновением мгновенной компрессии и декомпрессии воздуха в трещинах пород при воздействии прибоя, а также путем бомбардировки и истирания горных пород движущимися обломками; *химическая абразия* – разрушение пород, под действием растворяющей способности воды в случае растворимости пород слагающих берег; *термическая абразия* – разрушение берегов, сложенных мерзлыми породами или льдом.

*Факторы абразии.* Интенсивность абразии берегов зависит от ряда факторов, среди которых важнейшими являются:

– *ударная сила волн.* Во время сильных штормов высота волн может достигать 15–20 м и более, а сила их удара 30–70 тс/м<sup>2</sup>. Причем сильные штормы происходят как на океанах и морях, так и на озерах (рис. 3.9.4, 3.9.5) и водохранилищах. Высота волн на водохранилищах ниже, чем на морях: максимальные значения до 4 м, чаще в пределах 2–3 м, хотя при одинаковой силе ветра высота волн на пресноводных водоемах выше, чем в море за счет меньшей плотности пресной воды;

– *высота и крутизна берегового склона.* Интенсивность абразии значительно больше в случае высоких обрывистых берегов;

– *литологический состав, строение и выветренность горных пород.* Больше всего подвержены разрушению рыхлые песчано-глинистые породы, а также



сильнотрещиноватые скальные породы. Препятствует абразии вертикальное или наклонное по отношению к прибойной зоне залегание слоев (рис. 3.9.6, 3.9.7). Породы по степени сопротивляемости абразии разделены на 8 классов. Наиболее устойчивы породы 1 класса: прочные скальные кристаллические породы – граниты, кварциты, гнейсы, брекчии и др.; наименее устойчивы породы 7 класса – растворимые химически чистые известняки, каменная соль, гипс и др., и 8 класса: – многолетнемерзлые осадочные породы и лед (рис. 3.9.8). От устойчивости пород зависит скорость наступления моря и отступления берега. На побережье Франции в отдельные годы берег отступает со скоростью 15 и даже 35 м/год. Но там, где берега представлены очень прочными породами, может сохраняться древний профиль берега, который существовал еще до того, как установился современный уровень океана. Так, на Кольском полуострове гранитные берега до сих пор имеют следы движения ледников, т.е. за последние ~ 10 тыс. лет эти склоны практически не были изменены абразией. Химическая абразия наиболее распространена на берегах, сложенных известняками и другими растворимыми породами. Она имеет существенное значение для прогноза переработки берегов искусственных водохранилищ при значительной засоленности или загипсованности пород, слагающих берега, например, на Саратовском и Волгоградском водохранилищах;

— *изменения уровня моря и течения.* Абразия усиливается при трансгрессиях, возникающих при глобальном повышении уровня моря. Отступление моря (регрессия) ослабляет абразию. Значительную роль в развитии морской абразии играют приливы, усиливающие её, и отливы – ослабляющие, а также морские прибрежные течения, определяющие накопление обломочного материала вдоль береговой линии.



а



б

Рисунок 3.9.3 – Скальные останцы из пород коренного берега на бенче – подводной абразионной террасе (а) и на пляже неполного профиля (б), Порт-Кэмпбелл, юго-восточный берег Австралии (215)





Рисунок 3.9.4 – Шторм на озере Мичиган, США (216)



Рисунок 3.9.5 – Маяк Маре на Атлантическом побережье Франции (217)

Волны высотой до 30 м обрушиваются на маяк Маре, построенный еще в 1875 году из монолитного бетона. Маяк прозван «адам»: за несколько лет работы на нем сменилось несколько смотрителей, двое из которых умерли. Остальные сошли с ума, рассказывая,

что во время шторма слышали, как из-под воды доносятся страшные нечеловеческие вопли. Не так давно выяснилось, что под скалой, на которой стоит маяк, есть пещера и вода во время штормов, проходя сквозь неё, вызывает резонансные колебания воздуха и воды в виде жутких «дьявольских» звуков.



Рисунок 3.9.6 – Абразионная терраса на побережье Испании. Наклонное залегание слоев существенно препятствует абразии (218)

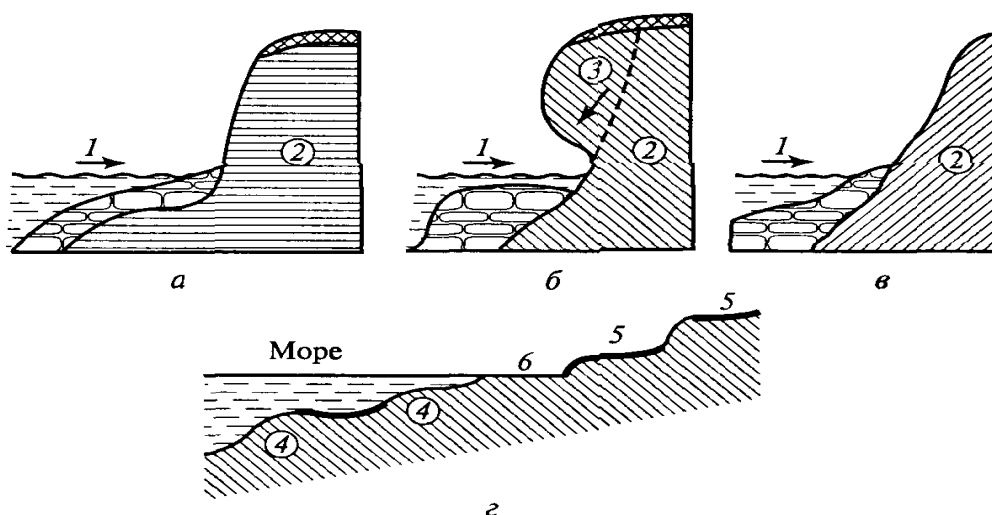


Рисунок 3.9.7 – Влияние залегания слоев на устойчивость к абразии (по В. П. Ананьеву) (219): Устойчивость: а – средняя; б – минимальная; в – максимальная; г – профиль берега моря с террасами. 1 – волны; 2 – залегание слоев; 3 – обрушение карниза; 4 – подводные террасы; 5 – надводные террасы; 6 – пляж.





Рисунок 3.9.8 – Абразионные формы на берегах сложенных льдом и мерзлыми породами, Гренландия (220)

В результате морской абразии иногда образуются уникальные природные объекты, например (рис. 3.9.9, 3.9.10).



Рисунок 3.9.9 – Остров Кхао Тапу, Таиланд (221)

Остров Кхао Тапу является частью национального парка Ао Панг Нга с 1974 года, после того, как он был показан в фильме о Джеймсе Бонде.





Рисунок. 3.9.10 – Природная абразионная форма в виде моста, Кипр (222)

### **Борьба с негативными последствиями абразии**

При защите от абразии берегов морей и пресноводных водоемов основными способами являются устройство пассивных и активных защитных инженерных сооружений и мероприятий.

К пассивному типу относятся берегоукрепительные сооружения, которые принимают удары морских волн на себя и временно задерживают разрушение берега. Это различные волноотбойные стены, набережные, прямые и ступенчатые откосные сооружения, наброски из камня. Эти сооружения часто недолговечны, в особенности на крутых берегах. Известны примеры разрушения набережных через 8-10 лет после их возведения. Более эффективно применение массивных фигурных блоков, например, тетраподов (рис. 3.9.11).

В состав берегозащитных сооружений активного типа входят сооружения, которые служат не только для гашения энергии волн, но и для накопления и удерживания наносов, слагающих пляж. С их помощью активно влияют на процессы формирования берегов. Главнейшие примеры сооружений, удерживающих пляжи – это буны и подводные волноломы.

*Буны* – это поперечные бетонные массивы, дамбы из бетонных блоков, каменной наброски или свай, расположенные под прямым углом к линии берега (рис. 3.9.12). Их назначение – прервать перемещение наносов вдоль берегов и способствовать их накоплению в зоне прибоя. За счет этого образуется (или стабилизируется) пляж необходимой ширины. Расстояние между бунами, как правило, не меньше длины буны.

*Волноломы* – это дамбы из каменной наброски или бетонных блоков, которые в отличие от бун, создаются параллельно защищаемому берегу на расстоянии 30-40 м от него на глубине 2-4 м. В необходимых случаях волноломы устраивают в несколько параллельных рядов. Их назначение как защита от волн, так и удержание пляжных наносов.

В настоящее время актуальна организация комплексной инженерной защиты морского берега, сочетающей одновременное возведение бун, волноломов, волноотбойных стен, а также, при необходимости, периодическую подсыпку пляжей песчаным и крупнообломочным материалом. Обязательны профилактические мероприятия, например, регулирование стока рек, впадающих в море, для увеличения объема наносов; сохранение естественного почвенно-растительного покрова, деревьев и кустарников в полосе, примыкающей к пляжу и берегозащитным сооружениям. Основные виды мероприятий и сооружений для защиты берегов от водной эрозии и абразии в соответствии с ДБН В.1.1-24:2009 приведены в таблице 3.9.1.



Рисунок 3.9.11 – Фигурные бетонные блоки – тетраподы (223). Они предназначены для берегозащитных и оградительных сооружений и производятся из гидротехнического бетона марки не ниже 300. Среди главных требований к этим конструкциям морозостойкость и водонепроницаемость.



Рисунок 3.9.12 – Буны возводятся перпендикулярно берегу, Алушта, Крым (224)

Таблица 3.9.1 Основные виды берегозащитных сооружений и мероприятий по ДБН В.1.1-24:2009.

Вид сооружения и мероприятия	Назначение сооружения, мероприятия и условия их применения
1	2
<p>I. Волнозащитные</p> <p>1 Вдольбереговые</p> <p>Подпорные береговые стены (набережные) волноотбойного профиля из монолитного и сборного бетона и железобетона, камня, свай</p> <p>Шпунтовые стенки железобетонные и металлические</p> <p>Ступенчатые крепления с укреплением основы террас</p> <p>Массивные волноломы</p> <p>2 Откосные</p> <p>Монолитные покрытия из бетона, асфальтобетона, асфальта</p> <p>Покрытие из сборных плит</p> <p>Покрытие из сетчатых блоков, заполненных камнем (габионов); покрытие из синтетических материалов (геотекстиля) и вторичного сырья</p>	<p>На морях, водохранилищах, озерах и реках для защиты зданий и сооружений I и II классов, автомобильных и железных дорог, ценных земельных угодий</p> <p>В основном на реках и водохранилищах</p> <p>На морях и водохранилищах при крутизне откосов более 15°</p> <p>На морях и водохранилищах при стабильном уровне воды</p> <p>На морях, водохранилищах, реках, откосах подпорных земляных сооружений при достаточной их статической устойчивости</p> <p>При волнах до 2,5 м</p> <p>На водохранилищах, реках, откосах земляных сооружений (при пологих откосах и невысоких волнах – менее 0,6 м)</p>



1	2
<p>II. Для гашения волн</p> <p>1 Вдольбереговые</p> <p>Водопроницаемые сооружения с пористой напорной гранью и камерами для гашения волн.</p> <p>2 Откосные</p> <p>Наброски из камня или из фасонных блоков</p> <p>Искусственные свободные пляжи</p>	<p>На водохранилищах, реках, откосах земляных сооружений при отсутствии рекреационного использования</p> <p>На морях и водохранилищах при отсутствии рекреационного использования</p> <p>На морях и водохранилищах при откосах (менее 10°) при стабильном уровне воды</p>
<p>III. Для удержания пляжей</p> <p>1. Вдольбереговые</p> <p>Подводные банкеты из бетонных блоков, камня</p> <p>Загрузка инертными материалами на локальных участках (каменные банкеты, песчаные намывы т.д.)</p> <p>2. Поперечные</p> <p>Буны, молы, шпоры (гравитационные, свайные, из фасонных блоков и т.п.)</p>	<p>На морях и водохранилищах при небольшом волнении для закрепления пляжа</p> <p>На водохранилищах при относительно пологих откосах</p> <p>На морях, водохранилищах, реках при создании и закреплении естественных и искусственных пляжей</p>
<p>IV. Специальные</p> <p>1 Регулирующие</p> <p>Управление стоком рек (регулирование сброса воды, объединение водотоков в одно устье.)</p> <p>Низкие затопляемые полузапруды, расположенные под углом навстречу потока</p> <p>Сооружения, имитирующие природные формы рельефа</p> <p>Перебазирование наносов вдоль побережья, использование подводных карьеров и т.д.</p> <p>2 Струенаправляющие</p> <p>Дамбы из каменной наброски или грунта</p> <p>Струенаправляющие массивные шпоры или полузапруды</p> <p>3. Откосные</p> <p>Искусственное закрепление грунта откосов</p>	<p>На морях для увеличения объема наносов, обход участков малой пропускной способности вдоль берегового потока</p> <p>Регулировка донного режима наносов и защита берегов предгорных участков рек от размывов</p> <p>На водохранилищах для регулирования береговых процессов</p> <p>На морях и водохранилищах для регулирования баланса наносов</p> <p>На реках для защиты берегов рек и отклонения потока от размывания берега</p> <p>На реках с невысокими скоростями течения для отклонения потока</p> <p>На водохранилищах, реках, откосах земляных сооружений при высоте волн до 0,5 м</p>

В случае, если берегоукрепительные сооружения также выполняют функции противооползневого, противообвальных или других видов инженерной защиты, при определении нагрузок и воздействий следует учитывать требования соответствующих разделов ДБН. Устойчивость такого сооружения следует устанавливать, исходя из условия устойчивости всего склона с учетом всех действующих нагрузок и воздействий.

### 3.10 Плывуны

#### **Определение ложных и истинных плывунов. Причины их движения. Зыбучие пески. Строительство в условиях плывунных грунтов**

*Плывунами* называются обводненные рыхлые грунты, чаще всего пески, способные переходить в текучее состояние при фильтрации воды или при механических вибрационных воздействиях. При вскрытии плывунов различными горными выработками они разжижаются и приходят в движение подобно тяжелой вязкой жидкости, практически суспензии, наподобие жидкой манной каши (рис.17.1).



Рисунок 3.10.1 – Плывун в строительном котловане (225)

Кроме песков плывунные свойства, при определенных условиях могут проявлять гравелистые отложения, супеси и другие грунты, обладающие значительной пористостью и низкой плотностью сложения.

Основной причиной проявления у грунтов плывунных свойств является резкий перепад *гидродинамического* давления, который возникает при их вскрытии котлованом, траншеей, подземным туннелем и т. п. В плывунном состоянии грунты утрачивают всякие структурные связи, а частицы переходят во взвешенное положение.

Залегают плывуны в виде слоев, линз на различных глубинах, чаще всего в речных долинах, на аллювиальных и приморских равнинах, сложенных четвертичными отложениями. Для плывунов характерна высокая подвижность, большая влажность (до 50 %) и высокая пористость (40 – 60 %).

Плывуны по А.Ф. Лебедеву разделяются на два вида – ложные и истинные.

*Ложные плывуны* (псевдоплывуны) – это обычные пески различной крупности, а иногда даже гравийно-галечниковые грунты, не имеющие структурных связей между частицами. Переход в плывунное состояние происходит только под действием высокого гидродинамического давления потока подземных вод. Частицы переходят во взвешенное

состояние, при котором трение между ними практически отсутствует. Псевдоплывуны очень легко отдают воду, при этом вода прозрачная или слегка мутная. При высыхании они образуют рыхлую или слабо сцементированную массу.

*Истинные плывуны* – это глинистые или заиленные пески, а иногда супеси, обладающие особыми структурными связями между частицами. Грунты представляют собой коллоидные системы, напоминающие густые студни, которые в физической химии называют гелями. Структурные связи обусловлены присутствием очень мелких глинистых, размером менее 0,001 – 0,0001 мм, и коллоидных частиц с высокими гидрофильными свойствами, т.е. способностью притягивать к себе влагу. Вокруг этих частиц формируются пленки связанной воды, что резко ослабляет сцепление грунтов и уменьшает их водопроницаемость. Дополнительную подвижность *истинных плывунов* вызывают возникающие в результате жизнедеятельности микроорганизмов слизи, уменьшающая трение, и пузырьки газа, которые создают в плывуне дополнительное давление. Микроорганизмы преобразуют органические и минеральные вещества и превращают обычный насыщенный водой песок в истинный плывун.

Глинистые частицы окрашивают выступающую из плывуна воду в серовато-белый цвет. Так, истинный плывун в котлованах дает скопление воды в виде «цементного молока». Ком песка из котлована имеет вид маловлажного грунта, воду почти не отдает, но постепенно оплывает в лепешку. Слабая отдача воды является характерной особенностью истинных плывунов. При высыхании истинные плывуны образуют довольно сильно сцементированные массы.

При выполнении инженерно-геологических изысканий в полевых условиях склонность грунтов к проявлению плывунных свойств может устанавливаться по образованию при бурении скважин водно-песчаных «пробок», поднимающихся вверх по стволу скважины.

Плывуны весьма осложняют строительство и горнопроходческие работы. Они создают большие трудности в проходке строительных наземных и подземных выработок, стремясь прорваться в открывающееся свободное пространство. Стенки вырытого в плывунах котлована вскоре после отрывки начинают обваливаться. Обрушившийся грунт расплывается по дну котлована; поверхность оплывшей массы имеет различный уклон в зависимости от природной влажности.

Так, согласно данным Е. М. Сергеева, угол естественного откоса ( $\alpha$ ) при влажности (W), равной 12,5%, составляет 19-37°; при W=13,5-15% -  $\alpha$ =4-5°; при W=17,5% -  $\alpha \approx 0^\circ$ . Истинные плывуны обладают наибольшей по сравнению с другими грунтами величиной деформации под нагрузкой.

Особенно опасно движение плывунов в основании гидротехнических и других сооружений, построенных на речных или морских плывунных песчаных отложениях. Оно происходит обычно внезапно, при этом иногда приходят в движение огромные грунтовые массы. Чрезвычайно способствуют движению плывунов сейсмические сотрясения.

Так, в XVII веке плывунные пески поглотили целый район города Порт-Ройял – знаменитой столицы пиратов, который располагался на 16-километровой песчаной косе на острове Ямайка. Тогда погибли свыше двух тысяч человек, несколько десятков стоявших в гавани судов и 1800 зданий города. 7 июня 1692 года началось землетрясение, и песок под городом неожиданно начал поглощать строения и людей. В исторических хрониках сохранились описания трагедии. Некоторые жители города мгновенно проваливались под



землю, других засасывало по колено или до пояса. После окончания землетрясения, длившегося шесть минут, песок мгновенно превратился в твердую массу, напоминавшую цемент, которая крепко зажала людей. Большинство так и погибло, не в силах выбраться. Еще в XIX веке на месте погребенного города из песка торчали остатки стен провалившихся домов. Но в 1907 году произошло очередное землетрясение, поглотившее эти свидетельства трагедии. Современное фото одного из сохранившихся старых зданий приведено на рис.17.2.



Рисунок 3.10.2 – Здание, построенное на плавунных грунтах острова Ямайка (фото 2005 г.) (226)

*Зыбучие пески* – наиболее опасная разновидность плавунув. При приливах и отливах на некоторых морских побережьях (например, в Англии, Нидерландах и др.) проявляется взвешивающее действие воды на грунты, и там образуются так называемые «зыбучие пески», представляющие серьезную опасность для людей. Организованы специальные службы спасения людей, попавших на эти пески (рис. 3.10.3, 3.10.4).



Рисунок 3.10.3 – Зыбучие пески на морском побережье вблизи г. Ливерпуль (227)



Рисунок 3.10.4 – Предупреждающая табличка «Опасно! Зыбучие пески» (Дания) (228)

Распространены зыбучие пески в пустыне Сахара, где они связаны с восходящими потоками подземных вод (рис. 3.10.5); в Новой Зеландии (рис. 3.10.6); на Аляске – по берегам фьорда Тарнэген длиной до 150 км; вблизи Канады на побережье острова Сейбл, поглощающим всё, что остается от кораблекрушений, и других местах.





Рисунок 3.10.5 – Зыбучие пески с сухой поверхностью в Сахаре (229)



Рисунок 3.10.6 – Влажные зыбучие пески, Новая Зеландия (230)

*Строительство в условиях плавунных грунтов.* В состоянии покоя и природной плотности *плавунны* могут характеризоваться относительно высокой несущей способностью, но при разуплотнении и нарушении их структуры они полностью теряют свои положительные качества и переходят в текучее состояние. При условии замкнутого пространства плавунны могут быть относительно удовлетворительными основаниями, но



создать и надежно контролировать границы такого пространства весьма трудно. Возможно выпирание пловунов из-под фундаментов, что вызывает провалы и вспучивание поверхности земли, деформацию зданий и сооружений, оползни на склонах. Открытый водоотлив из котлованов в пловунных грунтах может вызвать суффозию на стенках котлована и их оплывание (рис. 3.10.7).



Рисунок 3.10.7 – Прорыв пловунных песков в котлован в г. Киеве (231)

Опасна подрезка склонов, которая может дать выход пловунам. Поскольку вода, насыщающая пловуны, практически не сжимаема, то они очень чувствительны к вибрации и динамическим ударам, даже на значительно удаленных расстояниях от источника вибрации.

Способность песков, пришедших в пловунное состояние, после прекращения движения вновь приобретать стабильность используется при забивке свай. Забивка производится частыми несильными ударами, при этом свая легко входит в песок. Через некоторое время после забивки свая приобретает очень большую несущую способность. Удары, встряхивания и вибрация разрушают структуру пловунного песка. По истечении некоторого времени, в спокойном состоянии восстанавливается структурная прочность песка, которую он имел в естественных условиях.

Защита от пловунов требует больших затрат и сложных технических средств, а принятые меры не всегда дают ожидаемые результаты. Часто приходится отказываться от устройства котлованов и применять свайные фундаменты с заглублением нижнего конца свай в нижележащие прочные грунты или подошву фундамента размещать выше слоя пловунных грунтов. В выборе методики защиты проектируемых зданий и сооружений

важнейшее значение имеет вид пльвуна: истинные пльвуны значительно опаснее, чем ложные.

Способы борьбы с пльвунами можно разделить на четыре группы:

1 – искусственное осушение пльвунных пород в период строительства: открытая откачка воды из котлованов, использование иглофильтров для откачки по контуру котлована;

2 – ограждение котлованов от пльвунов путем создания шпунтовых стенок;

3 – закрепление пльвунов путем изменения их физических свойств: силикатизация, цементация, замораживание и электрохимическое закрепление;

4 – использование при проходке подземных горных выработок кессонов.

Для ложных пльвунов применимы все указанные способы. В случае истинных пльвунов эффективно использование только шпунтовых ограждений, замораживания и электрохимического закрепления. Возможность осушения пльвунов зависит от их водопроницаемости, характеризующейся коэффициентом фильтрации ( $k_f$ ). При относительно высоком  $k_f > 1$  м/сут откачку воды производят из дренажных скважин; при средних значениях  $k_f < 1,0-0,2$  м/сут следует использовать специальные иглофильтровые установки, позволяющие произвести осушение до глубины 5-6 м, а иглофильтрами специальной конструкции – до 12-15 м и более. При низких значениях  $k_f < 0,2$  м/сут иглофильтры применяют в сочетании с электро- или вакуумным дренажом.

Строительный котлован от пльвуна можно оградить шпунтовой крепью, задача которой – прорезать слой пльвунной породы и принять на себя ее давление. При этом воду, проникающую в котлован, откачивают насосом, а твердые частицы задерживаются шпунтом. Деревянные шпунты устанавливают на глубину до 6-8 м, металлические – до 20-25 м.

Силикатизация – нагнетание в пльвуны жидкого стекла. Этот способ можно применять в случае достаточно высокой водопроницаемости пльвунов ( $k_f > 0,5$  м/сут). Силикатизация требует больших затрат, но весьма эффективна.

Искусственное замораживание осуществляют вокруг котлована путем циркуляции в системе скважин раствора  $\text{CaCl}_2$ , охлажденного до температуры минус 20-40°C. Это создает вокруг котлована зону замороженного водонепроницаемого грунта, для которого используют морозное время года или специальные холодильные установки. Ранее считалось, что замораживание пльвунов является временным и ненадежным мероприятием. Однако опыт строительства ряда объектов метрополитенов, в частности станции «Южный вокзал» в г. Харькове показал высокую эффективность и надежность применения замораживания пльвунов при строительстве в условиях плотной городской застройки (рис. 3.10.8).

Строительство станции велось в сложных гидрогеологических условиях с применением замораживания грунтов. Здесь практически была создана фабрика по производству холода со сложнейшими коммуникациями. Работы по замораживанию грунтов велись в течении пяти лет (!). За это время строители пробурили в общей сложности 24 км скважин, из них для станционных тоннелей, соорудившихся закрытым способом – 15 км. По этим каналам холод проникал глубоко в грунт, создавая надежную ледовую защиту вокруг тоннелей. Замкнутая несущая стена толщиной шесть метров из замороженного грунта оградила котлован вестибюля станции, который соорудался открытым способом на большой глубине. Охлаждающая жидкость по двум рядам скважин

подавалась под давлением двумя компрессорами. Об эффективности метода и профессионализме метростроителей говорит хотя бы такой факт. Проект допускал осадку здания Южного вокзала, под которым проходят путевые тоннели, на 100 мм; а по факту осадка здания составила всего 8 мм.



Рисунок 3.10.8 – Замораживание плавунных грунтов при строительстве станции метро «Южный вокзал» в г. Харькове (фото 1971 года) (232)

При проходке вертикальных и горизонтальных подземных выработок используют кессонные камеры с повышенным давлением, уравнивающим давление воды плавуну. Кессон – это ограждающая конструкция для образования под водой или в водонасыщенном грунте рабочей камеры, свободной от воды, вытесняемой сжатым воздухом (рис. 3.10.9).

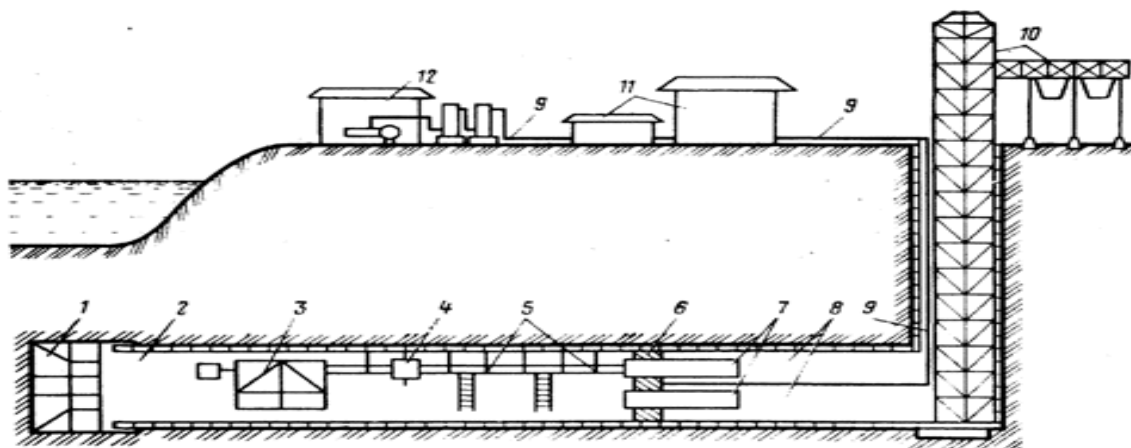


Рисунок 3.10.9 – Схема проходки тоннеля при помощи горизонтального кессона (233): 1 – проходческий щит; 2 – рабочая зона; 3 – тубингоукладчик; 4 – предохранительный экран; 5 – аварийный помост; 6 – шлюзовая перегородка; 7 – шлюзовые аппараты; 8 – зона нормального давления; 9 – трубопроводы сжатого воздуха; 10 – горный комплекс для проходки тоннелей; 11 – бытовые помещения; 12 – компрессорная



Кессонный способ был использован, например, при проходке перегонных тоннелей метро в плывунных грунтах под рекой Харьков между станциями "Советская" и "Проспект Гагарина". Строительство проходило в сложных геологических условиях; на время проходки была спущена вода из реки Харьков. Кроме кессона, применялось водопонижение и химическое закрепления грунтов.

### 3.11 Просадочность лёссовых пород

**Свойства лёссов и лёссовидных пород. Происхождение лёссов. Просадочность и её характеристики. Строительство на просадочных грунтах.**

Просадочные лёссы и лёссовидные породы встречаются на всех континентах и залегают сплошным покровом под почвенным слоем на большей части Украины (до 80 % территории), на юге России (до 17 %), в Казахстане, Средней Азии, Сибири, Северной Америке, Европе. Общая площадь, занятая лёссовыми породами на земном шаре, составляет 19 млн км<sup>2</sup>. Самая большая территория распространения лёсса находится в северном Китае (рис 3.11.1, 3.11.2).

По некоторым оценкам, до 40–50 % стоимости работ по строительству гражданских и промышленных объектов на лёссовых грунтах расходуют на комплекс мероприятий, предотвращающих деформацию сооружений из-за возможной просадки оснований.

*Лёссы* (от нем. Loss от lose – рыхлый, нетвердый) представляют собой неплотную породу серовато-желтого, бурого или палевого цвета осадочного, вероятнее всего эолового происхождения. В составе лёссов преобладают пылеватые частицы размером 0,01-0,05 мм (50% и более); более мелкие пылеватые и глинистые фракции размером менее 0,01 мм составляет от 5 до 30 %; песчаные частицы размером более 0,05 мм отсутствуют или содержатся в количестве менее 5 %.

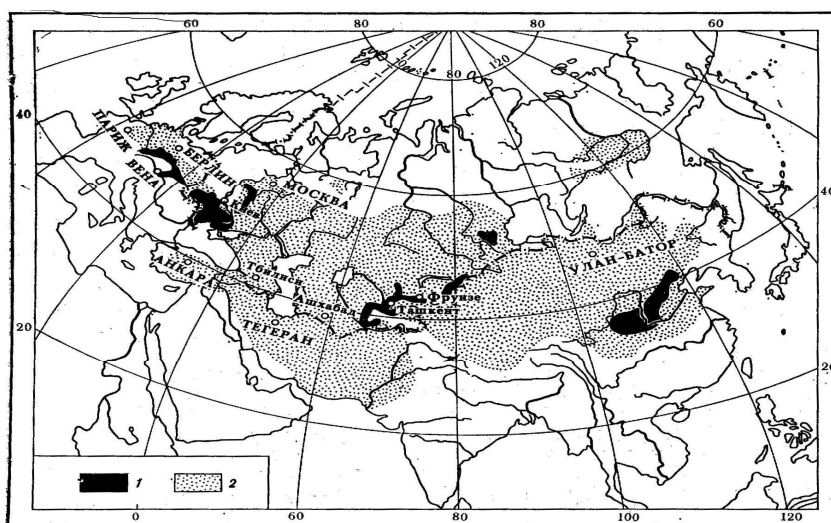


Рисунок 3.11.1 – Карта распространения лёссов и лёссовидных пород в Евразии (по Н. Н. Маслову): 1 – типичные лёссы, 2 – лёссовидные породы (234)



Рисунок 3.11.2 – Лёссовое плато в Китае (235)

Минералы, из которых состоят частицы лёссов, представлены кварцем до 80 % и полевыми шпатами, преимущественно ортоклазом (15-30 %); кальцит (10-20 %) в виде мелких зерен равномерно рассеян в породе или нередко образует плотные стяжения разнообразной формы, размером от нескольких миллиметров до 20 см, называемые «журавчики».

Для лёсса характерно отсутствие слоистости, наличие системы вертикальных макропор, вертикальная столбчатая отдельность. Природная влажность – очень низкая: в областях аридного климата 6-12 %, в более влажных районах 12-14, иногда до 17 %.

Пористость сухих и маловлажных лёссовых пород очень высокая и обычно составляет 40-47 %, но нередко может достигать 55-60 %. Крупные поры хорошо видны невооруженным глазом. Макропоры являются одним из важнейших диагностических признаков структуры *просадочных лёссов*. Эта особенность определяет способность лёссов обваливаться большими глыбами на склонах и проседать (сжиматься по вертикали) при увлажнении или под нагрузкой, например под весом построек.

Благодаря своей рыхлости порода легко разрушается при дефляции или под действием водных потоков. Реки, прорезающие толщи лёссов в Китае, образуют каньоны с почти вертикальными склонами, а знаменитая «желтая» река – Хуанхэ – имеет специфический желтый цвет воды за счет переноса большого объема размытого лёссового материала (рис. 3.11.3).



Рисунок 3.11.3 – Хуанхэ – Желтая река (Китай). Вода окрашена в желтый цвет из-за размыва лёссовых отложений (236)

*Происхождение лёссов.* Лёссы – это молодые отложения, сформировавшиеся в недавнее геологическое время в четвертичном периоде, не более 1,5 млн лет тому назад. В некоторых современных географических условиях они могут образовываться прямо на глазах человека, например, в межгорных впадинах Средней Азии. Покровное залегание лёссов на больших площадях объясняется быстрым накоплением в засушливых областях мощных слоев пылеватых осадков после прохождения сильных пыльных бурь.

Обобщение существующих в настоящее время гипотез происхождения лёссов позволяет сказать, что процесс формирования лёссовых пород состоит из двух этапов:

- 1) накопление минерального пылеватого осадка, которое может происходить различными путями, при различных экзогенных, но преимущественно при эоловых процессах;
- 2) превращение накопленного осадка в типичный лёсс, то есть в просадочную породу, в результате морозного выветривания, при котором формирование породы происходит в результате циклического сезонного промерзания и оттаивания исходных пылеватых толщ и удаления из их структуры льда посредством сублимации – испарения льда минуя жидкое состояние.

В толще лёссов встречаются остатки наземных растений и животных, а также погребенные почвы (рис 3.11.4).





Рисунок 3.11.4 – Лессовая толща с прослоями плейстоценовой ископаемой почвы (Полтавская область) (237)

Изучение особенностей, захороненных в лёссовых толщах пыльцы растений и ископаемых животных (в частности мамонтов, шерстистых носорогов) указывает на их образование в условиях холодного ледникового климата. Горизонты почв, наоборот, были сформированы в более теплых условиях за счет активного роста растений и накопления гумуса из их остатков. Эта особенность позволила определить, что значительная часть лёссов возникла в ледниковые эпохи в зонах, примыкавших к материковым льдам, а захороненные в них почвы – в межледниковые периоды. На Земле в течение четвертичного периода многократно чередовались очень холодные и относительно теплые отрезки времени. В холодные промежутки, продолжительностью ~40 тысяч лет, континенты подвергались нашествию материковых льдов, таких как сейчас в Антарктиде и Гренландии. В промежутках с более тёплым климатом (межледниковьях) льды таяли и отступали на север. Наиболее интенсивное накопление лёссовых толщ происходило в условиях сурового климата средне- и позднеледниковых веков (примерно от 800 тысяч до 12 тысяч лет тому назад).

*Лёссовидные породы* похожи на лёссы, но обладают лишь частью их свойств: они менее однородны, разнообразны по составу – от лёссовидных супесей и суглинков до лёссовидных глин, обладают меньшей пористостью, залегают преимущественно на склонах (рис.18.5), образуются при вторичном отложении лёссов и продуктов выветривания других пород. Распространены они более широко и часто образуют с

лѣссами постепенные переходы. Образование лѣссовидных пород происходило главным образом в четвертичном периоде, преимущественно по краям пустынь, в предгорьях и у подножья гор в полупустынных районах, а также по периферии областей материковых оледенений. На этих породах сформировались современные плодородные почвы, в частности черноземы.



Рисунок 3.11.5 – Лѣссовидные суглинки часто залегают на склонах (238)

Мощность лѣссов и лѣссовидных пород различна и меняется в разных районах от нескольких сантиметров до десятков метров, иногда достигает 100 м и более. В Китае она достигает более 200 м. В Украине максимальная мощность лѣссовых отложений отмечена в Одесской области – до 40 м.

*Просадочность лѣссов.* В естественных условиях лѣссы при малой влажности обладают значительной механической прочностью и устойчивостью в откосах. Они могут сохранять почти вертикальное положение при высоте откоса иногда более 10 м. При увлажнении их прочность существенно уменьшается, и они уплотняются в сопровождении необратимых изменений структуры грунтов. Это свойство называется *просадочностью* и является важнейшей строительной характеристикой лѣссовых грунтов.

Образцы просадочного грунта естественной структуры при замачивании под нагрузкой в лабораторном компрессионном приборе, в условиях, исключающих возможность выдавливания грунта в стороны, после замачивания сжимаются по вертикали в несколько раз больше, чем осадка (сжатие) такого же образца грунта при той же нагрузке при естественной влажности без замачивания.

При замачивании происходят резкие местные провальные осадки с разрушением структуры грунта – *просадки*. Следствием просадки лѣсса являются неравномерные



оседания земной поверхности (рис. 3.11.6) и деформации зданий и сооружений, возведённых на таких основаниях вплоть до разрушения (рис. 3.11.7, 3.11.8).

При точечных источниках замачивания образуются блюдцеобразные понижения диаметром в несколько метров. При линейных источниках (в случае поступления воды через траншею или канал) – продольные оседания земной поверхности, с возможным развитием параллельных трещин вдоль источника замачивания (рис. 3.11.9).



Рисунок 3.11.6 – Оседание поверхности земли в результате замачивания лёссовых грунтов в г. Днепропетровске (239)



Рисунок 3.11.7 – Разрушение здания школы в микрорайоне Тополь г. Днепропетровска (6.06.1997 г.) в результате насыщения лёссовой толщи водой и возникновения оползня (240)



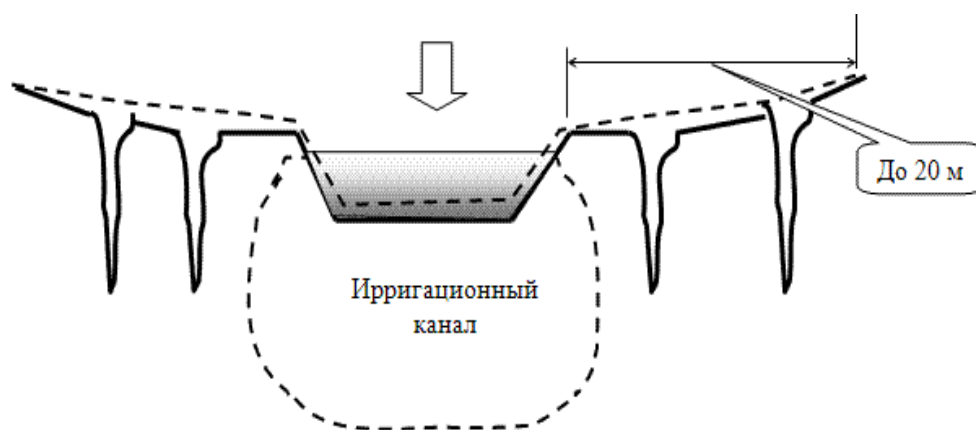


Рисунок 3.11.8. – Схема образования продольных трещин вдоль оросительного канала, проложенного в лёссовых грунтах (241). Ширина раскрытия трещин 30-40 см, а величина просадки 0,3-2 м. Причина появления подобных трещин – утечки воды из канала и замачивание лёссового основания

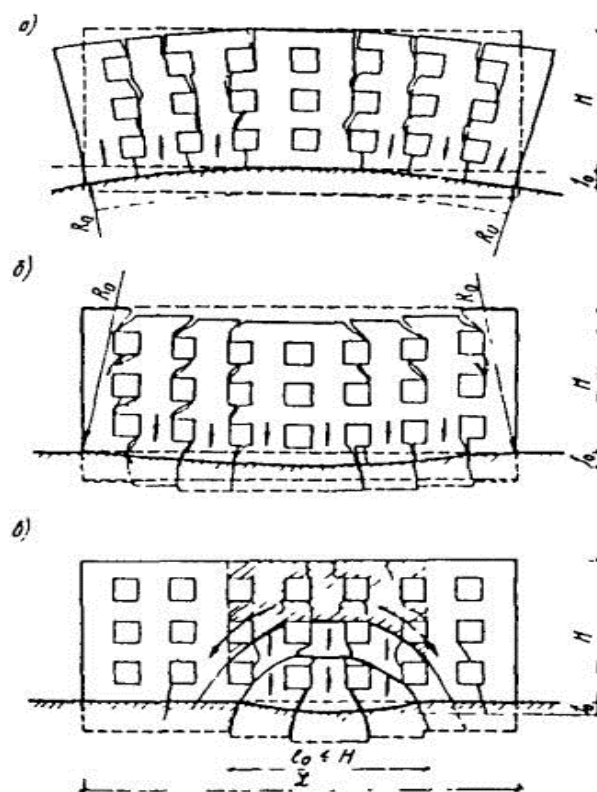


Рисунок 3.11.9 – Деформации и развитие трещин в стенах зданий при различных формах просадок грунта (242): а – по краям здания; б – по всей длине здания с максимумом в середине; в – ограниченная просадка грунта на длине  $l_0$ , меньшей длины и высоты здания (Рекомендации ЦНИИСК Госстроя СССР)

В массовом количестве с просадками грунтов строители столкнулись еще в конце 20-х годов XX в. века при строительстве Западно-Сибирского металлургического комбината. Исследования процессов просадок грунтов были проведены тогда

Ю. М. Абелевым. В 1937 г. в Харькове состоялось 1-е Всесоюзное совещание по просадочным грунтам.

На заводе «Запорожсталь» (30-е годы прошлого столетия), по причине попадания воды в лёссовое основание возведенных сооружений нередко возникали аварийные ситуации (рис. 3.11.10)

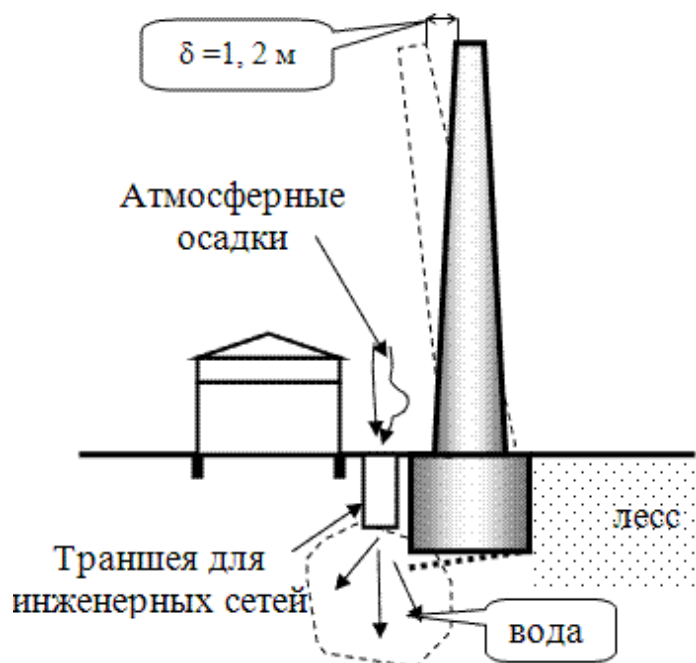


Рисунок 3.11.10 – Схема аварийной ситуации с дымовой трубой на заводе «Запорожсталь» в 30-х годах XX века (243)

Важной особенностью лёссовых толщ, наряду с просадочностью, является анизотропность их фильтрационных свойств: водопроницаемость по вертикали в 5-10 раз выше, чем водопроницаемость по горизонтали. В результате в местах интенсивного поступления воды (например, при аварийных или систематических утечках из водопроводных, канализационных сетей) возникают куполообразные повышения уровня грунтовых вод. Это приводит к замачиванию лёссовой толщи не только сверху, но и снизу и вызывает еще большую просадку. Подобные явления происходили в 80-е годы XX века на промплощадках «КАМАЗ», г. Набережные Челны, «АвтоВАЗ», г. Тольятти, «Атоммаш», г. Волгодонск. Просадка оснований привела к деформации ряда производственных цехов и потребовала значительных ресурсов для их восстановления. Кроме укрепления грунтов оснований, потребовалось устройство дренажей для защиты от грунтовых вод.

### Характеристики просадочности.

Критериями (номенклатурными показателями), служащими для предварительной оценки возможности проявления просадочных свойств грунтов, являются степень влажности  $S_r$  и показатель просадочности  $\Pi$ , определяемый по формуле:

$$\Pi = (e_L - e)/(1 + e), \quad (3.11.1)$$

где  $e$  – коэффициент пористости грунта природной влажности;  $e_L$  – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести  $\omega_L$ ;

$$e_L = \omega_L \gamma_s / \gamma_w, \quad (3.11.2)$$

где  $\gamma_s$  и  $\gamma_w$  – удельный вес частиц грунта и воды, кг/м<sup>3</sup>.

При предварительной оценке к просадочным относят грунты со степенью влажности  $S_r \leq 0,8$  и следующими значениями показателя просадочности  $P$ , в зависимости от числа пластичности грунта  $I_L$ :

$$P \leq 0,10, \text{ если } 0,01 \leq I_L < 0,10;$$

$$P \leq 0,17, \text{ если } 0,10 \leq I_L < 0,14;$$

$$P \leq 0,24, \text{ если } 0,14 \leq I_L < 0,22.$$

В случае, если грунты предварительно были определены как просадочные, необходимо выполнить комплекс геотехнических исследований характеристик просадочности.

Основными количественными характеристиками просадочных грунтов, определяющими их специфические свойства, являются: *относительная просадочность  $\epsilon_{sl}$ , начальное просадочное давление  $p_{sl}$  и начальная просадочная влажность  $\omega_{sl}$* .

*Относительная просадочность* (или *относительная деформация просадочности*) представляет собой относительное сжатие грунта при заданных давлениях и степени повышения влажности и определяется по формуле:

$$\epsilon_{sl} = (h_p - h_{sl}) / h_g, \quad (3.11.3)$$

где  $h_p$  – высота образца грунта природной влажности, под давлением  $p$  (без возможности бокового расширения), равным давлению от собственного веса вышележащего грунта и расчетной нагрузки от фундамента;  $h_{sl}$  – высота того же образца после замачивания его до полного водонасыщения при сохранении давления  $p$ ;  $h_g$  – высота того же образца грунта природной влажности, под давлением от веса вышележащего грунта на рассматриваемой глубине.

Классификация грунтов по относительной деформации просадочности по ГОСТ 25100-2011 приведена в таблице 3.11.1.

Таблица 3.11.1 – Классификация грунтов по относительной деформации просадочности по ГОСТ 25100-2011

Разновидности грунтов	Относительная деформация просадочности $\epsilon_{sl}$ , д.е.
Непросадочный	$\epsilon_{sl} < 0,01$
Слабопросадочный	$0,01 \leq \epsilon_{sl} \leq 0,03$
Среднепросадочный	$0,03 < \epsilon_{sl} \leq 0,07$
Сильнопросадочный	$0,07 < \epsilon_{sl} \leq 0,12$
Чрезвычайно просадочный	$\epsilon_{sl} > 0,12$

*Начальное просадочное давление  $p_{sl}$*  – это минимальное давление от фундамента или собственного веса грунта, при котором проявляются просадочные



свойства грунта в условиях его полного водонасыщения. За начальное просадочное давление  $p_{sl}$  при лабораторных испытаниях грунтов принимается давление, при котором относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}=0,01$ ; при полевых испытаниях штампами – давление, при котором фаза нормального уплотнения грунта переходит в фазу просадки и осадка штампа возрастает не менее чем в 1,5 раза. Значения просадочного давления колеблются в зависимости от влажности и пористости лессовых грунтов. Например, для г. Запорожье – они составляют 0,07-0,09; Никополь – 0,10-0,12; Душанбе – 0,01-0,03; Грозный – 0,04-0,07; в Ростовской области – 0,04-0,15 МПа.

*Начальная просадочная влажность  $\omega_{sl}$*  представляет собой влажность, при которой грунты, находящиеся в напряженном состоянии от внешней нагрузки или собственного веса грунта, начинают проявлять просадочные свойства. За критерий начальной влажности при компрессионных испытаниях принимается относительная просадочность  $\varepsilon_{sl} = 0,01$ ; при испытаниях штампами – давление, при котором фаза нормального уплотнения переходит в фазу просадки.

### **Строительство на просадочных грунтах.**

Строительство на просадочных грунтах должно выполняться в соответствии с требованиями ДБН В.1.1-5-2000 «Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих грунтах». Часть II. Будинки і споруди на просідаючих грунтах.

Применение того или иного мероприятия по снижению или устранению просадочности лёссового грунта определяется чаще всего на стадии проектирования. Устранение просадочности является одной из радикальных мер, реализуемых на различных стадиях нового строительства, а также для возможности эксплуатации уже деформированных зданий и сооружений.

Основные противопросадочные мероприятия сводятся к защите грунтов оснований от проникновения в них природных поверхностных и подземных вод или воды из различных коммуникаций, а также различные конструктивные решения по укреплению грунтовых оснований и устройству фундаментов.

К водозащитным мероприятиям относятся: дренажи вокруг зданий и сооружений с повышенными требованиями к их качеству; прокладка инженерных коммуникаций по схеме труба в трубе для снижения риска замачивания лёссового грунта в случае возможного порыва труб. Предъявляются повышенные требования к планировке застраиваемой территории, например, расположение в пониженных местах сооружений с риском утечек воды, например, водонапорных башен (рис. 3.11.11, а). Проводятся различные мероприятия, уменьшающие возможность замачивания грунта под фундаментами: устраивают более широкую отмостку вокруг зданий, повышенный уклон от здания самотечных инженерных трубопроводов и т.д. (рис. 3.11.11, б)

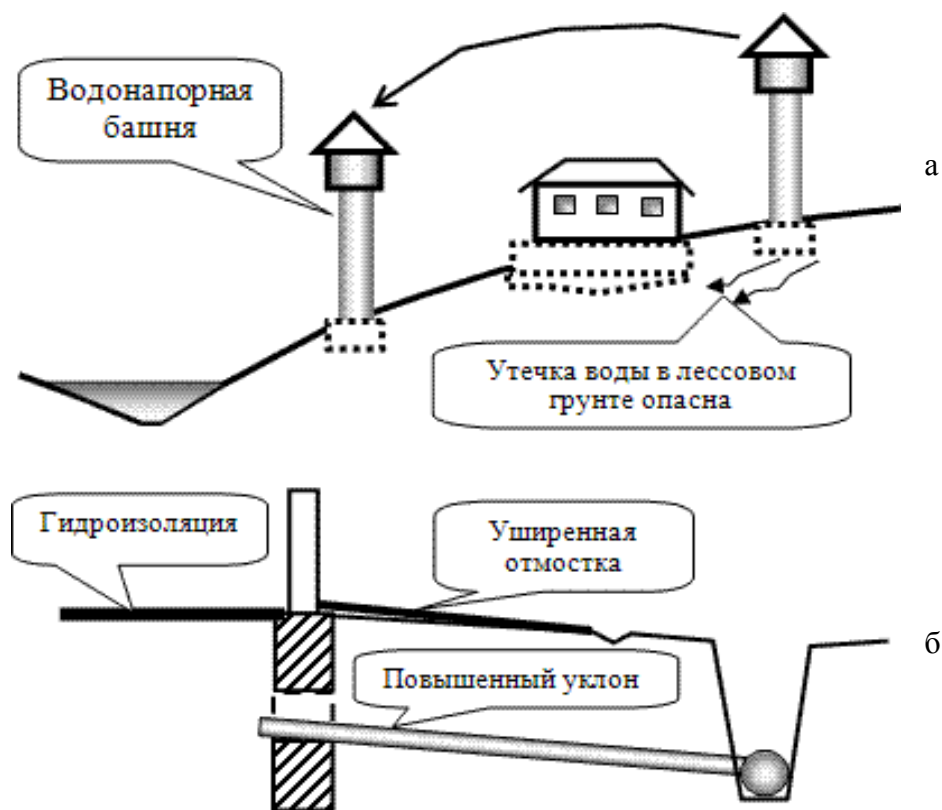


Рисунок 3.11.11 – Схемы водозащитных мероприятий: а – размещение водонапорной башни; б – конструктивные мероприятия против замачивания (244)

Возможно изменение глубины заложения фундамента или варианты конструктивных решений по устройству фундамента в соответствии с приведённой ниже схемой (рис. 3.11.12).

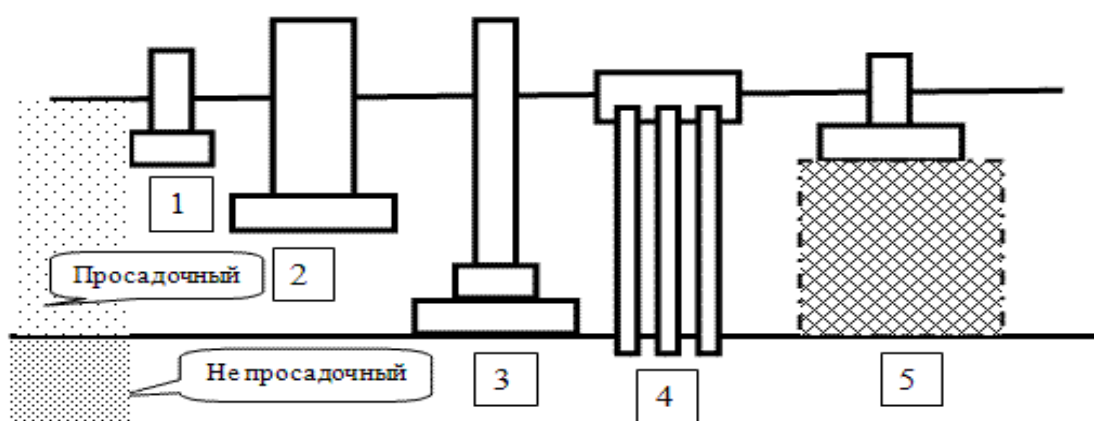


Рисунок 3.11.12 – Схема вариантов заложения фундаментов в лёссовых просадочных грунтах (245): 1,2 – для фундамента мелкого заложения увеличивают глубину заложения с целью уменьшения мощности просадочной толщ под подошвой; 3 – фундамент глубокого заложения проектируют с размещением подошвы на непросадочном грунте; 4 – прорезка просадочного грунта сваями; 5 – грунтовое основание под фундаментом искусственно делается непросадочным.

Часто на стадии строительства сооружений выполняют *предварительное замачивание лёссового основания* (рис. 3.11.13).

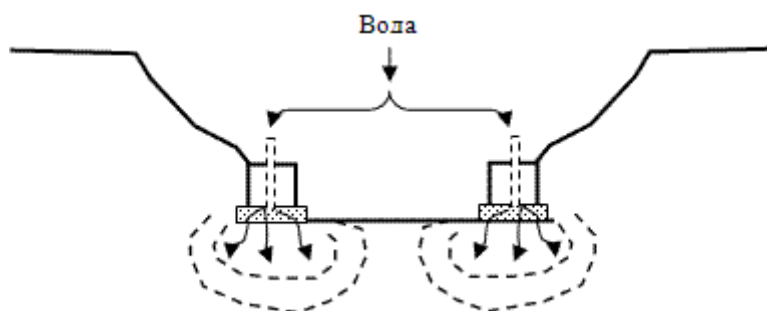


Рисунок 3.11.13 – Схема выполнения работ по предварительному замачиванию лёссового основания для устранения его просадочности (246)

Последовательность выполнения работ следующая. Отрывают котлован до заданной отметки заглубления. В основании сооружения под подошву фундамента укладывают песчаный слой (до 20 см). Первые ряды фундаментных блоков устанавливают в сухом котловане. В промежутки между блоками закладываются водопропускные трубки. Производится боковая засыпка, затем в слой песка по трубкам подается вода. Вода, проникая в лёссовое основание, вызывает его просадку. Укладываются следующие ряды блоков фундамента, которые своим весом и весом боковой засыпки уплотняют увлажнённый лёсс. В результате после возведения «нулевого» цикла в основании находится просевший уплотненный грунт.

Следует отметить, что осадки сооружений в строительный период менее опасны, чем в эксплуатационный, так как при дальнейшем производстве работ можно достаточно легко устранить последствия осадок.

*Поверхностное уплотнение трамбовками* в период производства земляных работ также вполне эффективно, поскольку лёсс, обладая крупными порами, достаточно легко уплотняется (рис 3.11.14, 3.11.15).

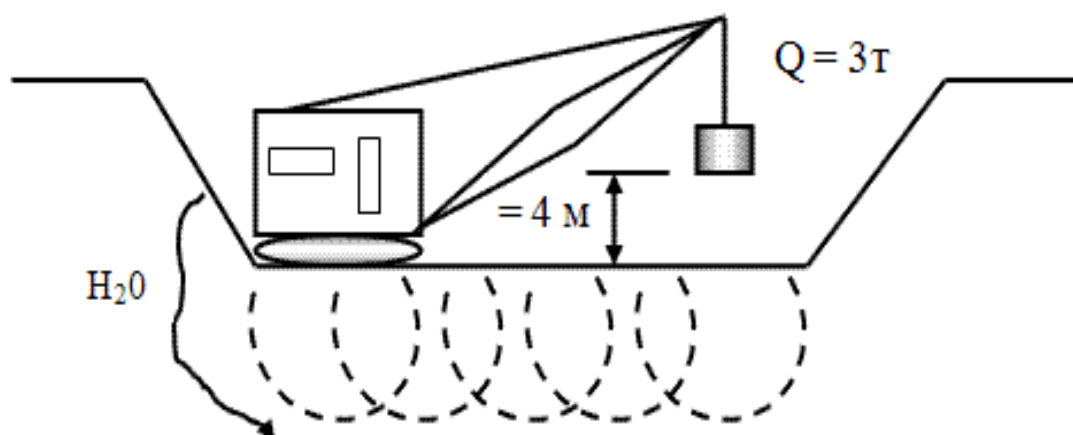


Рисунок 3.11.14 – Схема метода поверхностного уплотнения просадочного лёссового грунта (247)



Поверхностное уплотнение трамбовками создаёт в основании непросадочный слой грунта, который удлиняет путь воде к просадочной толще. Недостатки данного метода: просадочность устраняется частично; метод в зимних условиях не применяется.

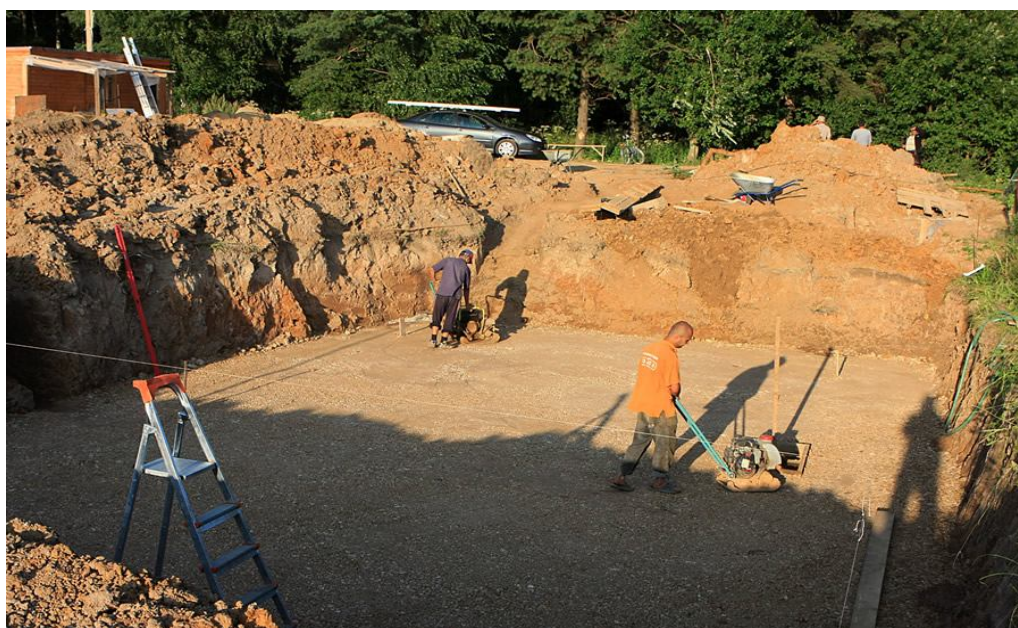


Рисунок 3.11.15 – Уплотнение просадочного грунта ручными вибрационными уплотнителями (248)

В случае необходимости устранения просадочности лёссового грунта на большую глубину используется метод уплотнения основания путем *устройства грунтовых свай*. Технология изготовления грунтовых свай заключается в следующем (рис. 3.11.16): в начале с поверхности грунта забивают металлические трубы с закрытым концом – происходит частичное уплотнение грунта и устранение просадочности лёсса, расположенного вдоль трубы; затем трубы извлекают; в скважину трамбуется тот же лёссовый грунт с небольшим количеством воды. Длина труб выбирается из условия проходки всей мощности лёссовой толщи – в результате получается грунтовая свая, опирающаяся на непросадочный грунт.

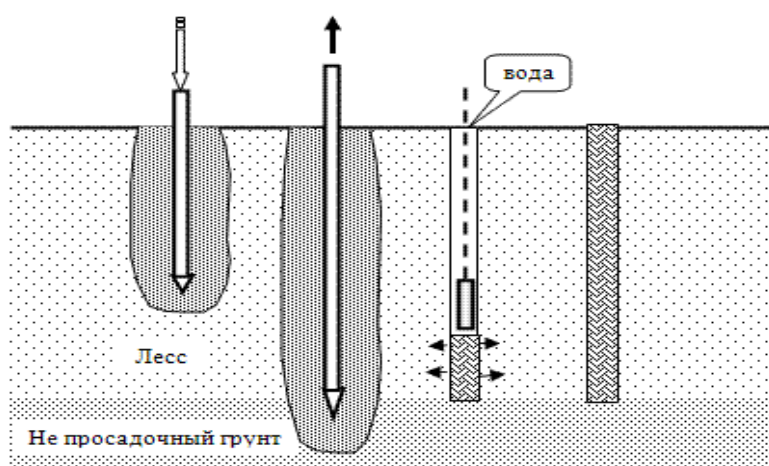


Рисунок 3.11.16 – Схема технологической последовательности создания грунтовых свай для уплотнения лёссового основания (249)

Вариантом устройства грунтовых свай является метод устройства полости в грунте с помощью взрывчатых веществ (ВВ) (рис 3.11.17).

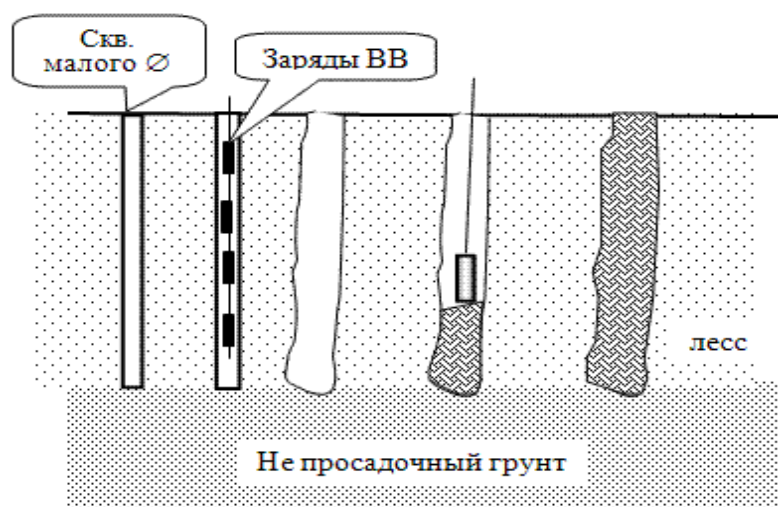


Рисунок 3.11.17 – Схема технологической последовательности выполнения грунтовых свай для уплотнения лёссового основания с использованием взрыва (250)

Этот вариант в два раза дешевле, чем предыдущий, но здесь необходимо использовать взрывчатые вещества и, соответственно, привлекать специализированные организации. Применение данного способа устройства свай возможно только на площадках, удалённых от существующих зданий.

Устранить просадочность лёссового грунта также можно созданием *грунтовых подушек из непросадочного грунта*. В этом случае котлован под проектируемое сооружение (рис. 3.11.18) выкапывается в лёссовом основании на два метра ниже отметки заложения подошвы фундамента.

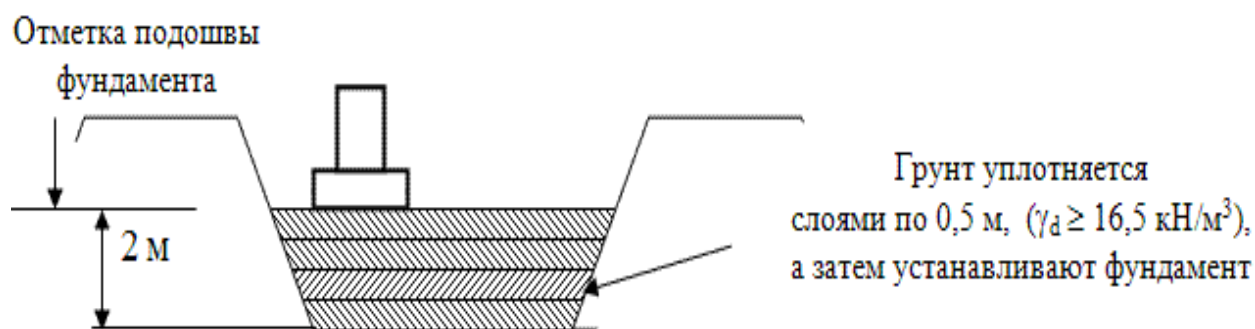


Рисунок 13.11.18 – Схема устранения просадочности лёссового грунта устройством грунтовых подушек (251)

Извлеченный грунт послойно (по 0,5 м) укладывается в котлован с уплотнением каждого слоя катками до плотности сухого грунта ( $\gamma_d$ ) не менее  $16,5 \text{ кН/м}^3$ . В результате под подошвой фундамента создаётся грунтовая подушка из уплотненного непросадочного грунта, на которую и устанавливается фундамент. Способ этот прост и экономичен; иногда его комбинируют с уплотнением трамбовками.

*Силикатизация* как метод устранения просадочности лёссового грунта, используется в основном для устранения аварийных ситуаций на эксплуатируемых сооружениях. Этот метод дорогой: стоимость закрепления 1 м<sup>3</sup> грунта – почти такая же, как стоимость 1м<sup>3</sup> бетона; поэтому его применяют в основном в аварийных случаях. Классическим примером силикатизации грунта является её применение в г. Одессе в середине прошлого века. Известный оперный театр г. Одессы, построенный на лёссовом основании, в результате увлажнения грунтов периодически проседал. Силикатизацию проводили 2 года – укрепили грунт, обеспечив стабильное существование театра до настоящего времени.

При *обжиге* лессы приобретают свойство не размокать в воде. Резко возрастает прочность породы. Она может выдержать нагрузку в 100 – 1000 т/м<sup>2</sup>. Интересно и важно для практики, что при обжиге сохраняется высокая пористость и водопроницаемость лессов.

### 3.12 Подрабатываемые территории

#### **Определение и причины подработки территорий. Мульды сдвижения и провалы.**

##### **Меры защиты зданий и сооружений на подрабатываемых территориях**

*Подрабатываемая территория* (англ. undermining area) – это территория, на которой в результате проведения подземных горных работ могут возникнуть неравномерные быстрые или медленные оседания земной поверхности и смещения грунта в основаниях зданий или сооружений.

Подработка территорий (англ. underworking) чаще всего происходит в результате проведении следующих видов работ:

- строительство подземных выработок – шахт, штолен, штреков при добыче угля и других полезных ископаемых;
- подземная проходка тоннелей, коллекторов, строительство переходов и других подземных объектов в городах;
- добыча газа и нефти, интенсивные откачки подземных вод.

В настоящее время каждая восьмая тонна угля добывается из-под застроенных территорий. В Донбассе, например, в зонах влияния торных выработок расположено более 120 городов и поселков, в том числе Донецк, Макеевка, Горловка, Шахты, Енакиево, Стаханов и другие. Под заводами Донбасса запасы угля составляют 212 млн т, из них 100 млн т находятся под металлургическими и коксохимическими заводами, а общие разведанные запасы угля, находящиеся под застройкой в Донбассе, составляют более 1,7 млрд т.

В результате подработки могут возникать плавные мульды сдвижения (оседания) земной поверхности (англ. shift trough) или резкие провалы (англ. mining damage) – участки, обрушившиеся под влиянием подземных горных выработок.

*Мульда сдвижения* – это участок земной поверхности, на котором в связи с проведением подземных работ возникли горизонтальные и вертикальные сдвиги и деформации (наклон, искривление, растяжение, сжатие) (рис. 3.12.1, 3.12.2). Величины деформаций зависят от глубины производства горных работ, объемов извлечения грунта

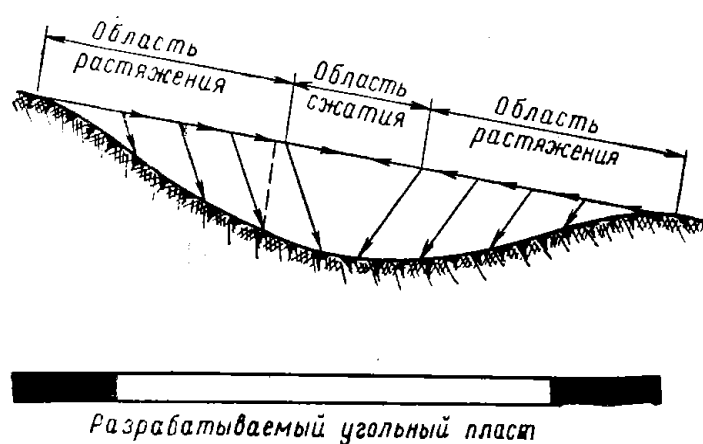


при проходке тоннелей или устройстве подземных сооружений, а при добыче полезных ископаемых от извлекаемой мощности, угла падения пласта (залежи) и площади отработки.

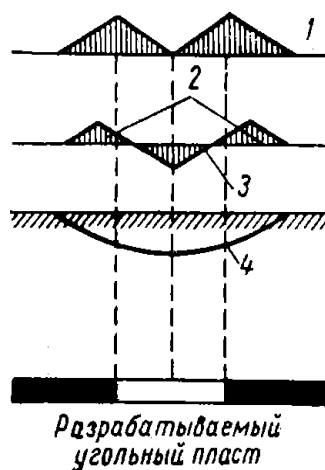


Рисунок – 3.12.1  
Оседание земной поверхности в виде мульды над горными выработками (252)

Граница мульды сдвига – это линия, соединяющая точки с оседаниями поверхности земли на  $\sim 10-15$  мм. В пределах мульды выделяются зона опасного сдвига, где сдвиги и деформации представляют непосредственную угрозу подрабатываемым территориям, зданиям и сооружениям, и зона трещин в краевых частях грунтового массива, менее активно влияющая на объекты на поверхности. Размеры этих зон зависят от прочностных свойств массива и угла падения пластов (рудных залежей). При разработке крутопадающих пластов в мульдах сдвига нередко образуются провалы.



а



б

Рисунок 3.12.2 – Схема перемещения точек земной поверхности (а) и распределения деформаций в мульде оседания при разработке угольного пласта (б): 1– горизонтальное смещение; 2– области растяжения; 3– область сжатия; 4– оседание поверхности (253)

*Провалы и впадины*, образующиеся на дневной поверхности, весьма различаются по форме и размерам. Например, округлые в плане провалы возникают после разработки пластовых залежей средней (толщиной 1,5-3 м) и большей мощности, имеющих горизонтальное или слабонаклонное залегание. При значительной мощности залежи возможно формирование террасированных провалов. Провалы в виде протяженных каньонов образуются над выработанным пространством мощных крутопадающих залежей. Например, в Кузбассе известны провалы длиной в десятки километров.

В городах муьды сдвижения и провалы могут возникнуть в результате проходки тоннелей метро, подземных коллекторов и др. Схема деформации поверхности в виде муьды над тоннелем приведена на рис. 3.12.3, а пример провала при строительстве тоннеля метро – на рис. 3.12.4.

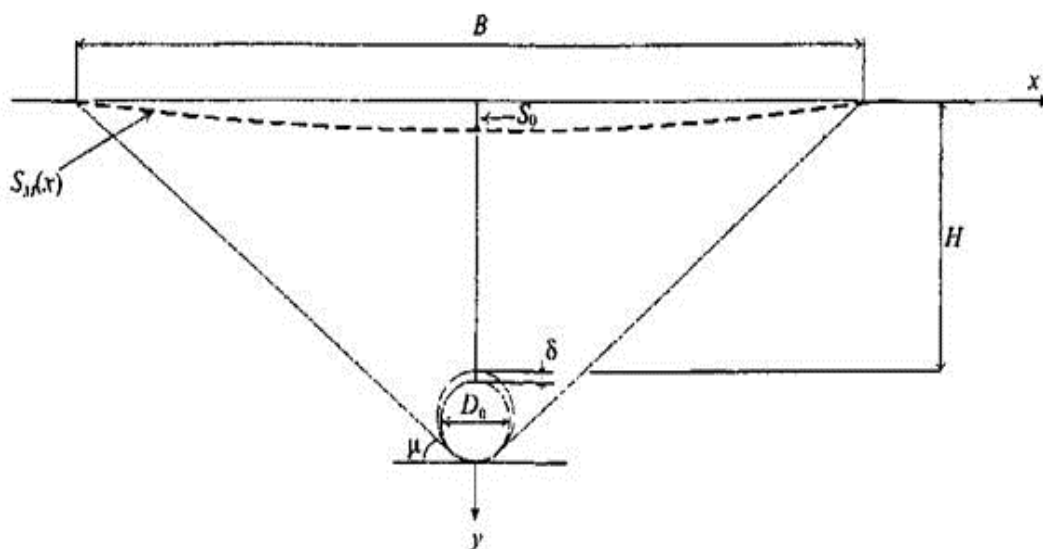


Рисунок 3.12.3 – Схема муьды оседания над подземной тоннельной выработкой (СП 21.13330.2012) (254)

Обозначения на рис. 3.12.3:

$S_0$  – значение максимального оседания земной поверхности под влиянием подземной выработки, которое происходит, как правило, непосредственно над подземной полостью;

$B$  – ширина муьды, т.е. расстояние между точками поверхности, в которых оседание равно нулю или составляет не более 10-15 мм;

$H$  – глубина залегания кровли выработанного пространства при проходке тоннеля;

$D_0$  – характерный размер подземной выработки;

$\mu$  – граничный угол сдвижения (угол наклона линий, соединяющих контур выработки с граничными точками муьды сдвижения);

$\delta$  – величина технологического перебора (разница между фактическим диаметром пройденной выработки и внешним диаметром обделки тоннеля).



а



б

Рисунок 3.12.4 – Провал при а, б строительстве метро в Сан-Паулу, Бразилия. Катастрофа произошла 12 января 2007 года, когда большая воронка 80 м в диаметре поглотила легковые и грузовые автомобили, автобусы, погибло семь человек. Несколько соседних аварийных зданий пришлось снести (255)

*Меры защиты зданий и сооружений на подрабатываемых территориях производятся в соответствии с нормативными документами, в частности, ДБН В.1.1-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина І. Будинки і споруди на підроблюваних територіях, а также СП 21.13330.2012.*

Для эксплуатируемых зданий и сооружений в условиях подработки предусматривают следующие комплексы защитных мероприятий:

- а) *горные*, уменьшающие деформации оснований зданий и сооружений;
- б) *геотехнические*, уменьшающие или устраняющие деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений;



в) *конструктивные*, уменьшающие чувствительность зданий и сооружений к деформациям их основания, а также деформации их конструкций.

К мерам защиты также можно отнести изменение характера эксплуатации подрабатываемого объекта и заранее планируемые ремонтные работы.

К *горным мерам* защиты относятся:

- полная или частичная закладка выработанного подземного пространства;
- разработка пластов с разрывом во времени в определенной последовательности, рассредоточение горных работ в пространстве;
- неполная выемка полезных ископаемых по площади и мощности;
- предварительное усиление и закрепление вышележащих горных пород в зоне забоя и за контурами обделок, в том числе устройство опережающего защитного свода горных выработок;
- применение проходческих комплексов с закрытым забоем;
- уменьшение сечений и размеров горных выработок;
- увеличение расстояний между горными выработками и фундаментами эксплуатируемых зданий и сооружений;
- нагнетание твердеющих растворов в пространство за обделкой.

К *геотехническим мерам* защиты относятся:

- мероприятия, предохраняющие грунты основания от ухудшения их строительных свойств с целью уменьшения деформаций оснований и приспособления их к сдвигам массива горных пород;
- усиление конструкций фундаментов зданий и сооружений;
- передача нагрузок от зданий и сооружений на нижележащие слои грунтов;
- отсечение грунтовых оснований зданий и сооружений от горных выработок путем устройства между ними разделительных стенок;
- снижение неравномерных осадок и выравнивание зданий и сооружений путем извлечения (выбуривания) грунтов из-под подошвы фундаментов;
- компенсационное нагнетание в грунт твердеющих растворов;
- устройство временных компенсационных траншей для уменьшения усилий от горизонтальных деформаций оснований.

К *конструктивным мерам* защиты относятся:

- разделение зданий и сооружений деформационными швами;
- усиление отдельных конструктивных элементов или в целом сооружения тяжами или железобетонными поясами;
- установка связей-распорок;
- выравнивание зданий и сооружений домкратами.

Меры защиты должны выбираться на основе технико-экономического сравнения вариантов, с учетом уровня ответственности, конструктивных особенностей, минимального влияния на режимы эксплуатации защищаемых объектов, результатов прогнозов деформаций их оснований, а также имеющегося опыта. Следует отдавать предпочтение горным мерам защиты, за исключением случаев подработки при выемке ценных полезных ископаемых. Если этих мер недостаточно или они не могут быть реализованы, следует применять геотехнические и конструктивные меры, которые не вызывают нарушения режима эксплуатации защищаемых объектов.

## **Заключение**

Рассмотренные в данном учебном пособии элементы общей геологии и инженерной геологии, на наш взгляд, являются наиболее важными на начальном этапе процесса обучения студентов строительных специальностей. Только получив представление о составе и строении земной коры, видах горных пород и об их свойствах, основных эндогенных и экзогенных природных, а также техногенных процессах, можно перейти к изучению специальных дисциплин. К этим дисциплинам относятся «грунтоведение», «механика грунтов», «механика скальных пород», а в дальнейшем «основания и фундаменты», «строительство в сложных инженерно-геологических условиях».

В процессе подготовки специалистов строительных специальностей требуют дополнительного изучения вопросы инженерной гидрогеологии, касающиеся весьма существенного влияния подземных вод на строительные объекты и застроенные территории, условий их залегания, движения, состава.

За рамками данного учебника остались дисциплины «строительная климатология», «инженерные изыскания», необходимые для специалистов-строителей. При дальнейшем обучении студентам требуется также освоить основные вопросы «геоэкологии».

Таким образом, только комплексная профессиональная подготовка специалистов строительного профиля позволит надежно, экономично, экологически безопасно обеспечить строительное производство и жизнедеятельность людей в целом.

## Список источников

### Учебники, справочники и работы общего характера

1. Ананьев В. П. Инженерная геология : учеб. / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – Москва : Высш. шк., 2000. 511 с.
2. Белый Л. Д. Инженерная геология : учеб. для строит. спец. вузов / Л. Д. Белый. – Москва : Высш. шк., 1985. – 231 с.
3. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной геологии / Г. К. Бондарик. – Москва, Недра, 1981. – 256 с.
4. Бондарик Г. К. Инженерная геодинамика / Г. К. Бондарик. – Москва : КДУ, 2007. – 440 с.
5. Ермолов В. А. Геология / В. А. Ермолов, Л. Н. Ларичев, В. В. Мосейкин. – [Ч.1, Основы геологии]. – Москва: МГТУ, 2004. – 598 с.
6. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г. С. Золотарев. – Москва : МГУ, 1983. – 328 с.
7. Иванов И. П. Инженерная геодинамика : учеб. / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 416 с.
8. Ананьев В. П. Инженерная геология: учеб. / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – [3-е изд., перераб. и испр.]. – Москва : Высш. шк., 2005. – 575 с.
9. Зоценко М. Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти : підруч. / [М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников]. – Полтава : ПНТУ, 2003. – 568 с.
10. Карлович И. А. Геология / И. А. Карлович. – Москва : Трикта, 2005. – 704 с.
11. Короновский Н. В. Общая геология: Учеб. / Н. В. Короновский. – Москва : МГУ, 2002. – 448 с.
12. Короновский Н. В. Историческая геология: учеб. / Н. В. Короновский, В. Е. Хаин, Н. А. Ясаманов. – Москва : Академия, 2008. – 458 с.
13. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – Ленинград : Недра, 1984. – 509 с.
14. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых : уч. / В. Д. Ломтадзе. – Ленинград : Недра, 1986. – 272 с.
15. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учеб. / Н. Н. Маслов. – Москва : Высш. шк., 1982. – 511 с.
16. Мустафаев А. А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах : учеб. пособ. / А. А. Мустафаев. – Москва : Высш. шк. 1989. – 590 с.
17. Общая геология: учеб. / [Под ред. Проф. А. К. Соколовского]. – [Т.1, Общая геология]. – Москва : КДУ, 2006. – 448 с.
18. Пашкин Е. М. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии. / Е. М. Пашкин, А. А. Каган, Н. Ф. Кривоногова. – Москва : КДУ, 2011. – 952 с.
19. Свинко Й. М. Геологія : підруч. / Й. М. Свинко, М. Я. Сивий. – Київ: Либідь, 2003. – 480 с.
20. Сергеев Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев. – Москва : МГУ, 1982. – 248 с.
21. Справочник современного изыскателя / [Под общ. ред. Л. Р. Маиляна]. – Ростов на Дону : Феникс, 2006. – 590 с.
22. Чернышев С. Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии : уч. пособ. / С. Н. Чернышев, А. Н. Чумаченко, И. Л. Ревелис. – Москва : Высш. шк. 2001. – 254 с.
23. Якушова А. Ф. Общая геология: учеб. / А. Ф. Якушова, В. Е. Хаин, В. И. Славин. – Москва : МГУ, 1988. – 448 с.

### Электронные учебники и интернет-ресурсы

24. ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ : консп. лекц. / [под. ред. А. М. Лаптевой]. – Москва : 2014. – [http://fullref.ru/job\\_89acab1eb1968f396e0b79f6bba0c979.html](http://fullref.ru/job_89acab1eb1968f396e0b79f6bba0c979.html)
25. Королев В. А. Инженерная и экологическая геодинамика / В. А. Королев. – Москва : МГУ, 2004. – (660 МБт).
26. Короновский Н. В. Основы геологии / Н. В. Короновский, А. Ф. Якушова. DOC – 210 с. (3,75 Мб) <http://ua.booksee.org/book/1503009>
27. Лаптева А. М. Геоморфология: курс лекций / А. М. Лаптева. – Москва : МГТА, 2002. <http://mggru.chersi.ru/geom/>



28. Конспект лекций по инженерной геологии: [Уч. пособ. для студ. строит. спец. заоч. форм. обуч.]. / В. М. Бевзюк, П. Л. Клемяцкион, С. Г. Колмогоров, С. С. Колмогорова. – Санкт-Петербург, 2010. – [http://fullref.ru/job\\_789735ae92c5f10385f6fc85a9de0580.html](http://fullref.ru/job_789735ae92c5f10385f6fc85a9de0580.html)

#### Литература к главе 1.1.

29. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения : уч. / В. И. Вернадский. – Москва : Наука, 2001. – 376 стр.

30. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет : учеб. / В. Н. Жарков. – [2-е изд.]. – Москва : Наука, 1983. – 416 с.

31. Короновский Н. В. Историческая геология / Н. В. Короновский, В. Е. Хаин, Н. А. Ясаманов. – Москва : Академия, 2008. – 458 с.

32. Молоденский М. С. Гравитационное поле. Фигура и внутреннее строение Земли / М. С. Молоденский. – [Избранные труды]. – Москва : – Наука, 2001. – 570 с.

33. Ананьев С. А. Общая геология: консп. лекций / С. А. Ананьев, А. К. Вальд, Е. А. Звягина, М. П. Кропанина. – Красноярск : ФГУ ВПО СФУ ИГДГГ, 2008. – 303 с.

34. Сорохтин О. Г. Развитие Земли / О. Г. Сорохтин, С. А. Ушаков. – Москва : МГУ, 2002. – 560 с.

35. Сорохтин О. Г. Теория развития Земли / О. Г. Сорохтин, Дж. В. Чилингар, Н. О. Сорохтин. – Москва-Ижевск : ИЖИКИ, 2010. – 752 с.

Графические источники и фотоматериалы, также использованы тематические сайты и открытые фотогалереи в сети Интернет. Например:

36. <http://dic.academic.ru/>

37. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

38. <http://www.bibliofond.ru/>

#### Литература к главам 1.2, 1.3.

39. Бетехтин А. Г. Курс минералогии: уч. пособие / А. Г. Бетехтин. – [под науч. ред. Б. И. Пирогова и Б. Б. Шкурского]. – [2-е издание, испр. и доп.]. – Москва : КДУ, 2010. – 736 с.

40. Геология, минералогия, петрография. Справоч. Рук-во. по строит. мат-нию / Ю. И. Гончаров, М. Ю. Малькова, В. М. Шамшуров, А. В. Шамшуров. – Москва : ИСВ, 2008. – 232 с.

41. Жуков М. М. Основы геологии / М. М. Жуков, В. И. Славин, Н. Н. Дунаева. – Москва : Альянс, 2011. – 544 с.

42. Леонтьев С. И. Определитель минералов и горных пород : мет., указ. к лаб. раб. / С. И. Леонтьев, Е. А. Звягина, Е. К. Коляго. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Красноярск : ГАЦМиЗ, 2002. – 56 с.

43. Миловский А. В. Минералогия и петрография / А. В. Миловский. – Москва : Недра, 1985. – 432 с.

44. Общая геология / [Под ред. Л. К. Соколовского]. – Москва : КДУ, 2006.

45. Прайс М. Минералы и горные породы / М. Прайс, К. Уолш. – Москва : Астрель, 2008. – 224 с.

46. Рапацкая Л. А. Общая геология / Л. А. Рапацкая. – Москва: Высш. шк., 2004. – 448 с.

47. Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы) / [К. Е. Есипчук, И. Л. Личак, В. А. Слипченко, И. С. Усенко, В. А. Цуканов]. – Киев : Наукова Думка, 1975. – 579 с.

48. Справочник физических констант горных пород. – Москва : Мир, 1969. – 544 с.

#### Литература к разделу 1.4.

49. Габдуллин Р. Р. Секвентная стратиграфия: уч. пособ. / Р. Р. Габдуллин, Л. Ф. Копаевич, А. В. Иванов. – Москва : МАКС Пресс, 2008. – 113 с.

50. Данбар К. Основы стратиграфии / К. Данбар, Дж. Роджерс. – Москва : ИЛ, 1962. – 363 с.

51. Куликова В. В. История Земли в галактических и солнечных циклах / [В. В. Куликова, В. С. Куликов, Я. В. Бычкова и др.]. – Петрозаводск : Карельский НЦ РАН, 2005. – 250 с.

52. Короновский Н. В. Историческая геология / Н. В. Короновский, В. Е. Хаин, Н. А. Ясаманов. – Москва : Академия, 2008. – 458 с.

53. Леонов Г. П. Основы стратиграфии / Г. П. Леонов. – [Т. 1.]. – МГУ, 1973. – 527 с.

54. Леонов Г. П. Основы стратиграфии / Г. П. Леонов. – [Т. 2.]. – МГУ, 1974. – 483 с.

55. Международный стратиграфический справочник. Сокращенная версия / М. А. Мёрфи, А. Сальвадор. – [Ред. Ю. А. Гладенков]. – Москва : ГЕОС, 2002. – 39 с.

56. Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии / С. В. Мейен. – Москва : Наука, 1989. – 216 с.
57. Саввина Н. И. Основы и методы стратиграфии: уч. пособ. / Н. И. Саввина. – Томск : ТГУ, 2002. – 198 с.
58. Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли и происхождение алмазов / О. Г. Сорохтин, Ф. П. Митрофанов, Н. О. Сорохтин. – Москва : Наука, 2004. – 270 с.
59. Прозоровский В. А. Начала стратиграфии / В. А. Прозоровский. – Санкт-Петербург : 2003. – 228 с.
60. Стратиграфический кодекс / [Изд. 3-е, дополненное]. – Санкт-Петербург : Межвед. Стратигр. Ком., 2006. – 96 с.
61. Шиндевольф О. Стратиграфия и стратотип / О. Шиндевольф. – Москва : Мир, 1975. – 135 с.

Ссылки на электронные ресурсы.

62. Сайт Международной комиссии по стратиграфии : <http://www.stratigraphy.org/>
63. Сайт по секвенс-стратиграфии : <http://strata.geol.sc.edu/>
64. Википедия : <http://www.wiki.ru/strat>

Литература к главам 2.1, 2.2, 2.3.

65. Алешин А. С. Тектонические разрывы на участках сейсмического микрорайонирования / [А. С. Алешин, И. И. Бархатов, С. А. Несмеянов и др]. – Москва : Наука, 1982. – 182 с.
66. Апродов В. А. Вулканы / В. А. Апродов. – Москва : Мысль, 1982, – 367с.
67. Трифонов В. Г. Аэрокосмическое изучение сейсмоопасных зон / [В. Г. Трифонов, В. И. Макаров, С. Ф. Скобелев и др]. Москва : Наука, 1998. – 174 с.
68. Богатиков О. А. Тектоника, геодинамика Земли / О. А. Богатиков, В. И. Коваленко, Е. В. Шарков. – Москва : Наука, 2010. – 606 с.
69. Болт Б. А. Геологические стихии / Б. А. Болт, У. Л. Хорн, Г. А. Макдоналд, Р. Ф. Скотт. – Москва : Мир, 1978. – 440 с.
70. Гир Дж. Зыбкая твердь / Дж. Гир, Х. Шах. – Москва : Мир. – 219 с.
71. Гупта Х. Плотины и землетрясения / Х. Гупта, Б. Растоги. – Москва : Мир, 1979. – 251 с.
72. Делемень И. Ф. Катастрофические обрушения вулканических построек / И. Ф. Делемень. – Петропавловск-Камчатский, КГПУ, 2003, – 243 с.
73. Макдональд Г. Вулканы / Г. Макдональд. – [пер. с англ.]. – Москва : Мир, 1975. – 431 с.
74. Наведенная сейсмичность / [Под ред. А. В. Николаева]. – Москва, Недра, 1994. – 218 с.
75. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений / Ю. И. Немчинов. – [в 2-х частях]. – Киев : НИИСК, 2008. – 480 с.
76. Николаев Н. И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы / Н. И. Николаев. – Москва : Недра, 1988. – 492 с.
77. Никонов А. А. Землетрясения / А. А. Никонов. – Москва : Наука, 2006. – 192 с.
78. Рихтера шкала. География: Соврем. Иллюстр. Энцикл. / [Под редакцией проф. А. П. Горкина]. – Москва : Росмэн. 2006. – 624 с.
79. Саваренский Е. Ф. Сейсмические волны / Е. Ф. Саваренский. – Москва : Недра, 1972. – 293 с.
80. Хаин В. Е. Геотектоника с основами геодинамики: учебник / В. Е. Хаин, М. Г. Ломизе. – [3-е изд.]. – Москва : КДУ, 2010. – 560 с
81. Хаин В. Е. Общая геотектоника / В. Е. Хаин, А. Е. Михайлов. – Москва : Недра, 1985. – 328 с.
82. Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов / В. Е. Хаин. – Москва: Научный мир, 2001. – 604 с.
83. Шейдеггер А. Основы геодинамики / А. Шейдеггер. – Москва : Недра, 1987. – 384 с.

Ссылки на электронные ресурсы.

84. <http://kaznmu.kz/rus/wp-content/uploads/2012/01/114.png>
85. <http://www.vokrugsveta.ru/telegraph/theory/720/>
86. <http://www.mining-enc.ru/s/sejsmicheskoe-rajonirovanie>

Нормативные документы.

87. ДБН В.1.1-12:2014 : Будівництво у сейсмічних районах України. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. – 110 с.
88. ДСТУ Б В.1.1-28:2010 : ШКАЛА СЕЙСМІЧНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 48 с.
89. European macroseismic scale: EMS-98. – [Європейська макросейсмічна шкала EMS-98]. – Люксембург : 1998. – 77 с.).

Литература к главам 3.1, 3.2.

90. Бочков Н. М. Механическая суффозия грунта / Н. М. Бочков. – Москва: ОНТИ, 1936. – 46 с.
91. Гвоздецкий Н. А. Карст / Н. А. Гвоздецкий. – Москва: Географгиз, 1984. – 351 с.
92. Гвоздецкий Н. А. Природа мира. Карст / Н. А. Гвоздецкий. – Москва: Мысль, 1981. – 215 с.
93. Гвоздецкий Н. А. Проблема изучения карста и практика / Н. А. Гвоздецкий. – Москва : Мысль, 1972. – 391 с.
94. Дзенс-Литовский А. И. Соляной карст СССР / А. И. Дзенс-Литовский. – Москва : Недра, 1966. – 167 с.
95. Дублянская Г. Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий / Г. Н. Дублянская, В. Н. Дублянский. – Новосибирск, 1992. – 144 с.
96. Короткевич Г. В. Соляной карст / Г. В. Короткевич. – Москва : Недра, 1970. – 256 с.
97. Кутепов В. М. Устойчивость закарстованных территорий / В. М. Кутепов, В. Н. Кожевникова. – Москва : Наука, 1989. – 151 с.
98. Максимович Г. А. Основы карстоведения: учеб. пособ. / Г. А. Максимович. – [Т. 1]. – Пермь : Пермское книжное издательство, 1963. – 444
99. Максимович Г. А. Основы карстоведения: учеб. пособ. / Г. А. Максимович. – [Т. 2] – Пермь : Пермское книжное издательство, 1969. – 529 с.
100. Печеркин А. И. Карст и суффозия на берегах водохранилищ / А. И. Печеркин, В. Е. Закоптелов. – Пермь : ПГУ, 1982 – 88 с.
101. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты / ПНИИИС – Москва : Стройиздат, 1987. – 80 с.
102. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП. – Москва : Стройиздат, 1985. – 79 с.
103. Толмачев В. В. Инженерное карстоведение / В. В. Толмачев, Ф. Ройтер. – Москва : Недра, 1990. – 154 с.
104. Хоменко В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. / В. П. Хоменко. – [Под ред. В. В. Баулина]. – Москва : ГЕОС, 2003, – 216 с.
105. Хоменко В. П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз / В. П. Хоменко. – Москва : Наука, 1986, – 97 с.
106. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей / Л. Якуч. – [Пер. с англ.]. – Москва : Прогресс, 1979. – 389 с.

Ссылки на электронные ресурсы.

107. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_geolog/4898/Суффозия](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/4898/Суффозия)
108. <http://www.buildcalc.ru/Learning/SoilMechanics/Open.aspx?id=Chapter13&part=5>
109. <http://law.rufox.ru/view/14/1200043809.htm> (схемы суффозии)
110. <http://damar74.narod.ru/suffosia.html> (контактная суффозия)
111. [http://studopedia.net/2\\_6062\\_mehanichestkaya-suffoziya.html](http://studopedia.net/2_6062_mehanichestkaya-suffoziya.html) (ориент. оценка суффозионности)
112. <http://sprosiggeologa.ru/inzhenernye-izyskaniya/suffoziya/>
113. <http://www.educationonsafety.com/опасные-экзогенные-процессы-суффозия/>
114. <http://geosfera.info/evropa/1776-peschera-krubera-voronya.html> 106. 106.
115. <http://www.institute.speleoukraine.net/5-gen-content/karst-caves-pages>
116. <http://magak.ru/fundament/spec-usloviya/452--8-?showall=1> (Строительство и эксплуатация сооружений, возводимых на закарстованных территориях.)
117. <http://docs.cntd.ru/document/1200045431>



118. <http://docs.cntd.ru/document/1200007405> СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства: Правила производства работ в районах развития опасных геологических процессов – [Часть II].

119. [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/45/45188/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/45/45188/index.htm) / Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. – Москва, 1984.

120. [http://sniphelp.ru/constructing/003/TSN\\_22-308-98\\_41752](http://sniphelp.ru/constructing/003/TSN_22-308-98_41752) / Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области, 2012.

#### Нормативные документы.

121. ДБН В.1.1-24:2009 / ЗАХИСТ ВІД НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ : Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 107 с.

122. ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ: ИНСТРУКЦИЯ ПО ИЗЫСКАНИЯМ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ТСН 302-50-95. РБ. – Уфа : ГОССТРОЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН, 1996. – 70 с.

123. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОГО КРАЯ. ТСН 31 – 11 – 2005. – Пермь : Администрация Пермского края, 2005. – 49 с.

124. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ ТСН 11-301-2004. – Пермь, Администрация Пермской области, 2004. – 122 с.

#### Литература к главам 3.3, 3.4, 3.5.

125. Божинский А. Н. Основы лавиноведения / А. Н. Божинский, К. С. Лосев. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 280 с.

126. Благовещенский В. П. Оценка лавинной опасности горной территории / В. П. Благовещенский, И. В. Северский. – Алма-Ата : Наука, 1983. – 220 с.

127. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках / Ю. Б. Виноградов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 144 с.

128. Войтковский К. Ф. Лавиноведение / К. Ф. Войтковский. – Москва : МГУ, 1989. – 157 с.

129. Воскресенский С. С. Геоморфология СССР: учеб. / С. С. Воскресенский. – Москва : Высш. шк., 1968. – 368 с.

130. Воскресенский С. С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов / С. С. Воскресенский. – Москва : Московский университет, 1971. – 231 с.

131. География лавин. – Москва : МГУ, 1992. – 330 с.

132. Геологические закономерности развития оползней, обвалов и селевых потоков / [Под ред. Г. С. Золотарева]. – Москва : МГУ, 1983. – 165 с.

133. Демин А. М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз / А. М. Демин. – Москва : ГЕОС, 2009. – 79 с.

134. Демин А. М. Закономерности проявлений деформаций откосов в карьерах / А. М. Демин. – Москва : Наука, 1981. – 159 с.

135. Демин А. М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов / А. М. Демин. – Москва : Недра, 1973. – 232 с.

136. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов / Е. П. Емельянова. – Москва : Недра, 1972. – 310 с.

137. Жигарев Л. А. Причины и механизм развития солифлюкции / Л. А. Жигарев. – Москва : Наука, 1967. – 156 с.

138. Искусственная активизация оползней. – Москва : Недра, 1989. – 232 с.

139. Кадастр лавин / [Т. 1–20]. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1984 – 1986.

140. Леонтьев О. К. Общая геоморфология / О. К. Леонтьев, Г. И. Рычагов. – Москва : Высш. шк., 1988. – 319 с.

141. Маслов Н. Н. Механика грунтов в практике строительства / Н. Н. Маслов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 320 с.

142. Ниязов Р. А. Оползни в лессовых породах / Р. А. Ниязов. – Ташкент : Фан, 1974. – 316 с.
143. Оползни. Исследование и укрепление. / [Под ред. Р. Шустера и Р. Кризека.]. – Москва : Мир, 1981. – 368 с.
144. Перов В. Ф. Селевые явления. Терминологический словарь / В. Ф. Перов. – Москва : МГУ, 1996. – 40 с.
145. Петров Н. Ф. Оползневые системы. Простые оползни / Н. Ф. Петров. – Кишинев : Штиинца, 1988. – 226 с.
146. Петров Н. Ф. Оползневые системы. Сложные оползни / Н. Ф. Петров. – Кишинев : Штиинца, 1988. – 211 с.
147. Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
148. Сергеев Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев. – Москва: МГУ, 1982. – 248 с.
149. Снежные лавины. Справочник по прогнозированию и мерам контроля / [Пер. с англ.]. – Москва : Прогресс, 1965. – 208 с.
150. Рекомендации, по количественной оценке устойчивости оползневых склонов – Москва : Стройиздат, 1984. – 80 с.
151. Тимофеев Д. А. Терминология денудации и склонов / Д. А. Тимофеев. – Москва : Наука, 1978. – 243 с.
152. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы и их прогноз / В. С. Федоренко. – Москва : Изд-во МГУ, 1988. – 212 с.
153. Флейшман С. М. Сели / С. М. Флейшман. – [2-е изд.]. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – 312 с.
154. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей / А. И. Шеко. – Москва : Недра, 1980. – 296 с.
155. Шустер Р. Оползни. Исследование и укрепление / Р. Кризек. – Москва : Мир, 1981. – 366 с.

#### Ссылки на электронные ресурсы

156. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_geolog/16724/СКЛОН](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/16724/СКЛОН)
157. [http://profidom.com.ua/files/dbn\\_v\\_1\\_1-3-97\\_rus.doc](http://profidom.com.ua/files/dbn_v_1_1-3-97_rus.doc)
158. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_geo/6780/обвал](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geo/6780/обвал)
159. <http://www.educationonsafety.com/опасные-экзогенные-процессы-обвалы-осыпи/> видео обвала
160. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/116444/Оплывины>
161. <http://www.bibliotekar.ru/goroda/19.htm> Одесса
162. <http://russos.livejournal.com/725545.html> плотина Вайонт, Италия
163. [http://uchebnikonline.com/bgd/bezpeka\\_zhittyediyalnosti\\_-\\_zaporozhets\\_oi/zsuvi.htm](http://uchebnikonline.com/bgd/bezpeka_zhittyediyalnosti_-_zaporozhets_oi/zsuvi.htm)
164. 157. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=975470&page=1012.13>
165. <http://www.karpaty.com.ua/?chapter=5&item=170>
166. <http://vk.com/id182836633>

#### Нормативные документы

167. ДБН В.1.1-24:2009. ЗАХИСТ ВІД НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ : Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – 2010. – 107 с.
168. 155. СВОД ПРАВИЛ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ENGINEERING GEOLOGICAL SITE INVESTIGATIONS FOR CONSTRUCTION. СП 11-105-97 Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. – Москва : ПНИИИС Госстроя России, 2000. – 103 с.

#### Литература к главам 3.6, 3.7, 3.8.

169. Ананьев В. П. Инженерная геология : учеб. для строит. спец. вузов / А. Д. Потапов. – [3-е изд., перераб. и испр.] – Москва : Высш. шк., 2005. – 575 с.
170. Ананьев В. П., Потапов А. Д., Филькин Н. А.. Специальная инженерная геология / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов, Н. А. Филькин. – Москва : Высш. шк., 2008. – 264 с.
171. Барышников Н. Б. Русловые процессы: учеб / Н. Б. Барышников. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2008. – 439 с.

172. Барышников Н. Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н. Б. Барышников, И. В. Попов. – Ленинград : Гидрометеиздат. 1988. – 456 с.
173. Давыдов Л. К. Общая гидрология / Л. К. Давыдов, А. А. Дмитриева, Н. Г. Конкина. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – 463 с.
174. Заславский М. Н. Эрозия почв / М. Н. Заславский. – Москва : Мысль, 1979. – 245 с.
175. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития / Е.Ф. Зорина – Москва : ГЕОС, 2003. – 168 с.
176. Каплин П. А. Берега / [П. А. Каплин, О. К. Леонтьев, С. А. Лукьянова, Л. Г. Никифоров]. – Москва : Мысль, 1991. – 479 с.
177. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв / Г. А. Ларионов. – Москва : МГУ, 1993. – 200 с.
178. Лобова Е. В. Почвы / Е. В. Лобова А. В. Хабаров. – Москва : Мысль, 1983. – 303 с.
179. Мала гірнича енциклопедія. / [т. II.] за редакцією В. С. Білецького. – Донецьк : Донбас, 2007. – 652 с. /<http://www.experts.in.ua/>
180. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы / Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – Москва : МГУ, 1986 – 264 с.
181. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии / Ц. Е. Мирцхулава – Москва : Колос, 1970. – 240 с.
182. Платов Н. А. Основы инженерной геологии, геоморфологии и почвоведения / Н. А. Платов, А. А. Касаткина. – Москва : Академия, 2012. – 144 с.
183. Попов И. В. Загадки речного русла / И. В. Попов – Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. – 168 с.
184. Чалов Р. С. Общее и географическое русловедение / Р. С. Чалов. – Москва : МГУ, 1997. – 112 с.

#### Ссылки на электронные ресурсы

185. [www.ecosystema.ru](http://www.ecosystema.ru)
186. <http://silgosp.com/books/book-4/chapter-177/>
187. <http://www.zoodrug.ru/topic3473.html>
188. <http://biofile.ru/bio/22380.html>
189. <http://www.ngpedia.ru/id621069p3.html>
190. <http://a-lapin.narod.ru/book5/t-talweg.htm>
191. <http://www.experts.in.ua/>

#### Нормативные документы

192. ДБН В.1.1-24:2009. ЗАХИСТ ВІД НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 107 с.

#### Литература к главе 3.9.

193. Айбулатов Н. А. Геология шельфа и берегов Мирового океана / Н. А. Айбулатов, Ю. В. Артюхин. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1993. – 303 с.
194. Артюхин Ю.В. Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря. – Ростов-на-Дону, РГУ, 1989. – 144 с.
195. Арэ Ф. Э. Термоабразия морских берегов / Ф. Э Арэ. – Москва : Наука, 1980. – 160 с.
196. Водохранилища и их воздействия на окружающую среду. / Под ред. Г. В. Воропаева и А. Б. Авакяна. – Москва.: Наука, 1986. – 368 с.
197. Гидрология и гидротехнические сооружения. – Москва : Высш. шк., 1988. – 472 с.
198. Долотов Ю. С. Проблемы рационального использования и охраны прибрежных областей Мирового океана / Ю. С. Долотов. – Москва : Научный мир, 1996. – 304 с.
199. Долотов Ю. С. Процессы рельефообразования и осадконакопления на приливных побережьях Мирового океана / Ю. С. Долотов. – Москва : Научный мир, 2010. – 180 с.
200. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов / В. П. Зенкович. – Москва : АН СССР, 1962. – 710 с.
201. Методы оценки состояния и инвентаризации берегозащитных сооружений и морских пляжей / [Г. Л. Кофф, В. Ф. Котлов, С. И. Федорова, В. М. Шахин, Л. М Гревцева]. – Москва : Полтекс, 2003. – 138 с.
202. Леонтьев О. К. Основы геоморфологии морских берегов / О. К. Леонтьев. – Москва : МГУ, 1961. – 419 с.



203. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона : процессы, понятия, определения. / [Под научн. ред. В.П. Зенковича и Б.А. Попова]. – Москва : Мысль, 1980. – 280 с.
204. Пышкин Б. И. Вопросы динамики берегов водохранилищ / Б. И. Пышкин. – Киев : АН УССР, 1963. – 332 с
205. Сафьянов Г. А. Геоморфология морских берегов / Г. А. Сафьянов. – Москва.: Моск. ун-та, 1996. – 400 с.
206. <https://sites.google.com/site/gmrflogy/14>

#### Нормативные документы

207. ДБН В.1.1-24:2009. ЗАХИСТ ВІД НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України.

#### Литература к главе 3.10.

208. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М. Ю. Абелев – Москва : Стройиздат, 1983. – 248 с.
209. Ананьев В. П. Инженерная геология : учеб. для строит. спец. вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов – [3-е изд., перераб. и испр. Ананьев. В. П.] – Москва : Высш. шк., 2005. – 575 с.
210. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. – Москва : Госстройиздат, 1973. – 176 с.
211. Гуменский Б. М. Основы физико-химии глинистых грунтов и их использование в строительстве / Б. М. Гуменский. – Москва : Стройиздат 1965. – 234 с.
212. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – [включая специальный курс инженерной геологии. 2-е изд. перераб. доп.]. – Ленинград : Стройиздат Ленинградское отделение, 1988. – 415с.
213. Злочевская Р. И. Связанная вода в глинистых грунтах / Р. И. Злочевская. – Москва : МГУ, 1969. – 84 с.

#### Ссылки на электронные ресурсы

214. [http://www.buroviki.ru/plyvuny\\_v\\_stroitelnyh\\_kotlovanah.html](http://www.buroviki.ru/plyvuny_v_stroitelnyh_kotlovanah.html)
215. <http://www.ngpedia.ru/id264555p2.html>
216. <http://patentdb.su/metka/plyvunov>
217. [http://otherreferats.allbest.ru/geology/00189246\\_1.html](http://otherreferats.allbest.ru/geology/00189246_1.html)
218. [http://swenthich.ucoz.ru/news/prokhodka\\_tonnelej\\_pod\\_szhatym\\_vozdukhom\\_kessonnyj/2013-07-28-172](http://swenthich.ucoz.ru/news/prokhodka_tonnelej_pod_szhatym_vozdukhom_kessonnyj/2013-07-28-172)
219. <http://gortransport.kharkov.ua/subway/stations/2/> метро Южный вокзал

#### Литература к главе 3.11, 3.12.

220. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – [2 изд.]. – Москва : 1968. – 432 с.
221. Ананьев В. П. Минералогический состав и свойства лессовых пород / В. П. Ананьев. – Ростов-на-Дону, 1964. – 218 с.
222. Бондарик Г. К. Закономерности пространственной изменчивости лёссовых пород / Г. К. Бондарик, М. Н. Горальчук, В. Г. Сироткин. – Москва : Недра, 1976. – 238 с.
223. Грунтоведение : учеб. / [Под ред. акад. Е. М. Сергеева]. – Москва : 1983. – 392 с.
224. Денисов Н. Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков / Н. Я. Денисов. – [2-е изд.]. – Москва : Стройиздат, 1953. – 154 с.
225. Кригер Н. И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой / Н. И. Кригер. – Москва : Наука, 1965. – 296 с.
226. Кригер Н. И. Лёсс. Формирование просадочных свойств / Н. И. Кригер. Москва : Наука, 1986. – 136 с.
227. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах / В. И. Крутов. – Киев : Будівельник, 1982. – 224 с.
228. Лёссовые породы СССР / Под ред. Е.М. Сергеева, А. К. Ларионова, Н. Н. Комиссаровой. [Т. 1, 2.] – Москва : Недра, 1986,

229. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов : учеб. для вузов / Н. Н. Маслов. – Москва : Высш. шк., 1982. – 511 с.
230. СОКОЛОВ В. Н. ПРОБЛЕМА ЛЁССОВ / В. Н. СОКОЛОВ. – МГУ, Опубликовано в Соросовском Образовательном Журнале, N9, 1996. – стр.86-93.
231. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ И КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ. – Москва : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1988. – 36 с.
232. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 240 с.
233. Защита и подработка зданий и сооружений / [С. Е. Шагалов, Р. А. Муллер, В. В. Марков. и др.]. – Москва : Недра, 1974. – 188 с.

#### Ссылки на электронные ресурсы

234. [http://www.buildcalc.ru/\(S\(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55\)\)/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5](http://www.buildcalc.ru/(S(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55))/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5)
235. [http://geo-logya.ru/index.php?action=full\\_article&id=178](http://geo-logya.ru/index.php?action=full_article&id=178)
236. <http://do.gendocs.ru/docs/index-154178.html>
237. <http://www.mining-enc.ru/m/mulda-sdvizheniya/>
238. <http://sitc.ru/ton/chapter10.html>
239. <http://tekhnosfera.com/rabota-bolsheproletnyh-konstruktsiy-fundamentnyh-svyazey-ras-porok-na-podrabatyvaemyh-territoriyah>

#### Нормативные документы

240. ГОСТ 25100-2011. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 38 с.
241. ДБН В.1.1-5-2000 «БУДИНКИ І СПОРУДИ НА ПІДРОБЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ І ПРОСІДАЮЧИХ ГРУНТАХ». Будинки і споруди на підроблюваних територіях. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – [Ч. I.] – Київ : 2000. – 66с.
242. ДБН В.1.1-5-2000 «БУДИНКИ І СПОРУДИ НА ПІДРОБЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ І ПРОСІДАЮЧИХ ГРУНТАХ». Будинки і споруди на просідаючих грунтах. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – [Ч. II.] – Київ, 2000. – 84с.
243. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями. – [Часть V] – Госстрой России. – Москва : ФГУП ПНИИИС Госстроя России, 2003. – 25 с.
244. СП 21.13330.2012. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 68 с.

## Список иллюстраций

### Ссылки на рисунки к главе 1.1

1. Рис 1.1.1 <http://schools-wikipedia.org/images/1216/121611.jpg.htm>
2. Рис 1.1.2 [http://www.j100.ru/view/vse\\_tayny\\_marianskoy\\_vpadiny\\_foto/](http://www.j100.ru/view/vse_tayny_marianskoy_vpadiny_foto/)
3. Рис 1.1.3 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/EL\\_CHIMBORAZO.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/EL_CHIMBORAZO.jpg)
4. Рис 1.1.4 [https://ru.wikipedia.org/wiki/Уаскаран\\_\(гора\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Уаскаран_(гора))
5. Рис 1.1.5 <https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Earth-crust-cutaway-ru.svg#/media/File:Earth-crust-cutaway-ru.svg>
6. Рис 1.1.6 [http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/84/Tectonic\\_plates\(rus\).png](http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/84/Tectonic_plates(rus).png)
7. Рис 1.1.7 <https://lh3.googleusercontent.com/-65snyDAjDHw/VipczYnmZrI/AAAAAAAAAT2E/K6EXs-Pszhg/s640-Ic42/AtI%252520Ocean%252520floor.jpg>
8. Рис 1.1.8 [http://www.wikiwand.com/ru/Срединно-Атлантический\\_хребет](http://www.wikiwand.com/ru/Срединно-Атлантический_хребет)
9. Рис 1.1.9 [http://www.claufont.net/Sfondi/spazio/universo/yjdt\\_small.jpg](http://www.claufont.net/Sfondi/spazio/universo/yjdt_small.jpg) (рисунок заменен !)
10. Рис 1.1.10 <http://derzaser.ru/preview/531/1600x1200/День-ночь-на-земле>
11. Рис 1.1.11 <http://gethdwallpapers.pw/sun-clouds-nature-skies-stratosphere-wallpaper-75903/>
12. Рис 1.1.12 <http://tiaurus.info/3719>

### Ссылки на рисунки к главе 1.2

13. Рис.1.2.1 а <https://pp.vk.me/c624930/v624930843/14138/zZLvNDIqaCg.jpg>
14. Рис.1.2.1 б <http://ok-t.ru/studopediaru/baza6/485137901270.files/image016.jpg>
15. Рис.1.2.1 в [http://img1.liveinternet.ru/images/foto/c/9/apps/2/894/2894029\\_qt\\_4.jpg](http://img1.liveinternet.ru/images/foto/c/9/apps/2/894/2894029_qt_4.jpg)
16. Рис.1.2.1 г <https://userscontent2.emaze.com/images/0ba0031f-07d3-4c29-81e7-b15c00890a72/80affe2b-c243-4994-a547-054b6ba98870.jpg>
17. Рис.1.2.1 д [http://geo.web.ru/druza/m-Q\\_30-1.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-Q_30-1.JPG)
18. Рис. 1.2.2 а [http://geo.web.ru/druza/m-stavr\\_3\\_DSC00708.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-stavr_3_DSC00708.JPG)
19. Рис. 1.2.2 б <http://www.feliki.ru/page/Tsitrin-i-ametrin>
20. Рис. 1.2.2 в <http://media.snimka.bg/images/001879206-big.jpg>
21. Рис. 1.2.2 г [http://geo.web.ru/druza/m-antim\\_5\\_Mu08\\_227\\_Moi.jpg](http://geo.web.ru/druza/m-antim_5_Mu08_227_Moi.jpg)
22. Рис. 1.2.2 д [http://geo.web.ru/druza/m-chalc\\_0-1.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-chalc_0-1.JPG)
23. Рис. 1.2.2 е [http://img-fotki.yandex.ru/get/28/ilm.0/0\\_126f2\\_22f6b6a9\\_XL.jpg](http://img-fotki.yandex.ru/get/28/ilm.0/0_126f2_22f6b6a9_XL.jpg)
24. Рис. 1.2.2 ж [http://www.mirbizhu.ru/images/mirb017\\_files/mirb017-213.jpg](http://www.mirbizhu.ru/images/mirb017_files/mirb017-213.jpg)
25. Рис. 1.2.3 а [http://www.iu.edu/~geol105/images/gaia\\_chapter\\_5/rock\\_forming\\_minerals.htm](http://www.iu.edu/~geol105/images/gaia_chapter_5/rock_forming_minerals.htm)
26. Рис. 1.2.3 б [http://geo.web.ru/druza/m-azu\\_14Kz\\_6004\\_mal.jpg](http://geo.web.ru/druza/m-azu_14Kz_6004_mal.jpg)
27. Рис. 1.2.3 в [http://geo.web.ru/druza/m-kinov\\_17\\_5511.jpg](http://geo.web.ru/druza/m-kinov_17_5511.jpg)
28. Рис. 1.2.3 г <http://cdn01.ru/files/users/images/1b/c1/1bc1e31d0ae3b0343868aa00e807a24e.jpg>
29. Рис. 1.2.3 д <http://macroclub.ru/gallery/data/777/3593.jpg>
30. Рис. 1.2.3 е [http://hend-made.ru/wp-content/uploads/2013/11/98869138\\_large\\_ph05578.jpg](http://hend-made.ru/wp-content/uploads/2013/11/98869138_large_ph05578.jpg)
31. Рис. 1.2.4 а <http://1.bp.blogspot.com/-WlRqTR5qbGY/TnyD-xRP73I/AAAAAAAAAqk/hj8eSWbo1e0/s1600/China+clay.jpg>
32. Рис. 1.2.4 б <http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/68/Desert-rose-big.jpg>
33. Рис. 1.2.4 в <http://www.catalogmineralov.ru/sample/16170.html>; <http://img-2004-06.photosight.ru/28/535981.jpg>
34. Рис. 1.2.4 г <http://bizhu-blackcat.ru/up/article/img/spravohnic/fluorit.jpg>
35. Рис. 1.2.4 д <http://wsovetchik.ru/wp-content/uploads/2014/08/магические-свойства-и-лечебные-свойства-камня-апатита.jpg>
36. Рис. 1.2.4 е <http://www.mindat.org/photos/0550552001171805563.jpg>
37. Рис. 1.2.4 ж [http://img0.liveinternet.ru/images/attach/c/10/110/30/110030168\\_5477271\\_images\\_jpeg5\\_1\\_.jpg](http://img0.liveinternet.ru/images/attach/c/10/110/30/110030168_5477271_images_jpeg5_1_.jpg)  
<https://www.expatads.com/adpics1/2013/9/Pebbles-in-Multi-Colour-natural-stone-Polished-amp-Un-Polished-Pebbles-from-IndIa-available-in-Bulk5236dc53d52954b33dc2.jpg>  
<http://jacarebijoux.beepworld.it/files/agata.jpg>
38. Рис. 1.2.4 з [http://geo.web.ru/druza/m-topz\\_6\\_5938.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-topz_6_5938.JPG)
39. Рис. 1.2.4 и [http://geo.web.ru/druza/m-corun\\_7\\_3280\\_Rai.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-corun_7_3280_Rai.JPG)



40. Рис. 1.2.4 к [http://rutravel.net/uploads/posts/2015-03/1426610426\\_12793\\_original.jpg](http://rutravel.net/uploads/posts/2015-03/1426610426_12793_original.jpg)
41. Рис. 1.2.5 а <http://svoystvakamney.ru/wp-content/uploads/2015/10/kamen-galenit1.jpg>
42. Рис. 1.2.5 б [http://geo.web.ru/druza/m-amaz\\_25-2.JPG](http://geo.web.ru/druza/m-amaz_25-2.JPG) (рисунок заменен!)
43. Рис. 1.2.5 в <http://i.imgur.com/xFRDwSn.jpg>
44. Рис. 1.2.5 г <http://www.catalogmineralov.ru/collections/244-7.html>
45. Рис. 1.2.5 д [http://4.bp.blogspot.com/-MSKbVLTMuwY/VBDNWH-leFI/AAAAAAAAABog/NSi4NkKaxGE/s1600/Magnetyt1,\\_Boliwia.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-MSKbVLTMuwY/VBDNWH-leFI/AAAAAAAAABog/NSi4NkKaxGE/s1600/Magnetyt1,_Boliwia.jpg)
46. Рис. 1.2.5 ж <http://mtdata.ru/u5/photo60A1/20892373710-0/original.jpg>

#### Ссылки на рисунки к главе 1.3

47. Рис 1.3.1 а <http://1-gc.ru/image/data/info/articles3/granit-porody.jpg>
48. Рис 1.3.1 б <http://www.stroyteh.ru/file/wiki/image/2/8k/Gabbro/original.jpeg?1>
49. Рис 1.3.1 в <http://0.tqn.com/d/create/1/S/V/K/2/-/DSC01218.JPG>
50. Рис 1.3.1 г [http://geo.web.ru/druza/m-Mi\\_13\\_5329\\_graf.jpg](http://geo.web.ru/druza/m-Mi_13_5329_graf.jpg)
51. Рис 1.3.1 д [http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983903\\_Tumannyye\\_gornyye\\_porodyi\\_na\\_Lune.jpg](http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983903_Tumannyye_gornyye_porodyi_na_Lune.jpg)
52. Рис 1.3.1 е [http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/65/Anorthosit\\_fin.jpg](http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/65/Anorthosit_fin.jpg)
53. Рис.1.3.2 а [http://multi-online.ru/\\_ld/60/40327772.jpg](http://multi-online.ru/_ld/60/40327772.jpg)
54. Рис.1.3.2 б [http://images.slideplayer.com.br/5/1587426/slides/slide\\_13.jpg](http://images.slideplayer.com.br/5/1587426/slides/slide_13.jpg)
55. Рис.1.3.2 в архив автора
56. Рис.1.3.2 г <http://space1004.cafe24.com/bbs/data/photo/jigak28.jpg>
57. Рис.1.3.2 д [http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1984891\\_trahit.jpg](http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1984891_trahit.jpg)
58. Рис.1.3.2 е [http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983915\\_Vulkanicheskaya\\_poroda.jpg](http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983915_Vulkanicheskaya_poroda.jpg)
59. Рис.1.3.3 [http://popovgeo.sfedu.ru/sites/default/files/Use1/Lecture/Lecture\\_15/Магматические%20т.jpg](http://popovgeo.sfedu.ru/sites/default/files/Use1/Lecture/Lecture_15/Магматические%20т.jpg)
60. Рис.1.3.4 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Half\\_Dome\\_at\\_sunset.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Half_Dome_at_sunset.jpg)
61. Рис.1.3.5 <http://www.crimea-on-line.ru/images/mountain/audag08.jpg>
62. Рис.1.3.6 [https://www.google.com/imgres?imgurl=http://dic.academic.ru/pictures/enc\\_geolog/1208.jpg&imgrefurl=http://imgbuddy.com/lopoliths.asp&h=381&w=619&tbid=HHS1m89yNuRRem:&docid=7CIWK24H3TwIOM&hl=ru&ei=LuO9Vs2yBsGjyPfm5fgBA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjNgfmdr\\_LKAhXBkXIKHd\\_NBUwQMwgdKAAwAA](https://www.google.com/imgres?imgurl=http://dic.academic.ru/pictures/enc_geolog/1208.jpg&imgrefurl=http://imgbuddy.com/lopoliths.asp&h=381&w=619&tbid=HHS1m89yNuRRem:&docid=7CIWK24H3TwIOM&hl=ru&ei=LuO9Vs2yBsGjyPfm5fgBA&tbm=isch&ved=0ahUKEwjNgfmdr_LKAhXBkXIKHd_NBUwQMwgdKAAwAA)
63. Рис.1.3.7 <http://mtdata.ru/u23/photo00B7/20992293758-0/original.jpeg>
64. Рис.1.3.8 <https://userscontent2.emaze.com/images/ceaa0973-ed9c-4867-bbb7-a71872af3357/acadcd8e-42a2-4a80-b588-d850aa355e49.png>
65. Рис.1.3.9 [http://gendocs.ru/gendocs/docs/2/1286/conv\\_5/file5\\_html\\_m7f0d75a8.png](http://gendocs.ru/gendocs/docs/2/1286/conv_5/file5_html_m7f0d75a8.png)
66. Рис.1.3.10 [https://img-fotki.yandex.ru/get/6432/137106206.62a/0\\_18250e\\_8a80056a\\_orig.png](https://img-fotki.yandex.ru/get/6432/137106206.62a/0_18250e_8a80056a_orig.png)
67. Рис.1.3.11 [http://images1.raftaar.in/rphotos/h1/misc/m/image\\_seed\\_135\\_6331551\\_mahableshtar.jpg](http://images1.raftaar.in/rphotos/h1/misc/m/image_seed_135_6331551_mahableshtar.jpg)
68. Рис.1.3.12 <http://static.keptelenseg.hu/p/582d19b4f39b7bfec84e4d4cf38e11d8.jpg>
69. Рис.1.3.13 [http://lapalma.ru/images/vulcanes\\_termin.jpg](http://lapalma.ru/images/vulcanes_termin.jpg)
70. Рис.1.3.14 [http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983993\\_kislava\\_lava\\_foto.jpg](http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1983993_kislava_lava_foto.jpg)
71. Рис.1.3.15 а архив автор
72. Рис.1.3.15 б архив автор
73. Рис.1.3.15 в <http://elnias.lt/wp-content/uploads/2015/03/plautas.png>
74. Рис.1.3.15 г [http://ic.pics.livejournal.com/marisanka/12206002/162931/162931\\_original.jpg](http://ic.pics.livejournal.com/marisanka/12206002/162931/162931_original.jpg)
75. Рис.1.3.15 д архив автор
76. Рис.1.3.15 е <http://s61.radikal.ru/i172/1202/5a/2447110a2a5b.jpg>
77. Рис.1.3.16 а <http://img.board.com.ua/a/1043070345/wm/0-kryimskij-rakushnyak-rakushechnik-kamen-blok.jpg>
78. Рис.1.3.16 б <http://www.minipedia.org.ua/wp-content/uploads/2012/12/mel-myagkij-kamen.jpg>
79. Рис.1.3.16 в <https://25.img.avito.st/1280x960/2163830825.jpg>
80. Рис.1.3.16 г [http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1984904\\_Trepel.jpg](http://investments.academic.ru/pictures/investments/img1984904_Trepel.jpg)
81. Рис.1.3.16 д <http://i.enc-dic.com/dic/colier/images/ph01232.jpg>
82. Рис.1.3.16 е <http://s52.radikal.ru/i138/1404/51/7c5752b2a561.jpg>
83. Рис.1.3.16 ж <http://files.abovetopsecret.com/images/member/81eadab22194.jpg>
84. Рис.1.3.17 а [http://geo.web.ru/druza/m-celes\\_14Tu\\_3107.jpg](http://geo.web.ru/druza/m-celes_14Tu_3107.jpg)

85. Рис.1.3.17 б [http://3.bp.blogspot.com/-bAbhINORn4k/U1GzNEAB1rI/AAAAAAAAAQb0/QL3x3ODmKp0/s1600/Dolomit,\\_Rumunia;\\_pseudomorfoza\\_po\\_kalcycie.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-bAbhINORn4k/U1GzNEAB1rI/AAAAAAAAAQb0/QL3x3ODmKp0/s1600/Dolomit,_Rumunia;_pseudomorfoza_po_kalcycie.jpg)
86. Рис.1.3.17 в <http://kemoblast.ru/uploads/2012/02/Boksit.jpg>
87. Рис.1.3.17 г [http://kalenikov.ru/doog/vbk/img\\_d\\_z\\_vbk/id101\\_gips\\_b.jpg](http://kalenikov.ru/doog/vbk/img_d_z_vbk/id101_gips_b.jpg)
88. Рис.1.3.18 а <http://photo.sf.co.ua/g/309/4.jpg>
89. Рис.1.3.18 б <http://lavrovit.narod.ru/predlogenia/gem.4.jpg>
90. Рис.1.3.19 а [http://www.gidrorez.ru/img/portfolio/mramor/mramor04\\_b.jpg](http://www.gidrorez.ru/img/portfolio/mramor/mramor04_b.jpg)
91. Рис.1.3.19 б <http://www.vip-monument.ru/wp-content/uploads/2009/10/malinovui-kvarcit.jpg>
92. Рис.1.3.19 в [http://www.centropuccini.it/Aprender\\_italiano/images/carrara-marble-big.jpg](http://www.centropuccini.it/Aprender_italiano/images/carrara-marble-big.jpg)
93. Рис.1.3.19 г [http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2\\_5\\_4\\_18.htm](http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2_5_4_18.htm)
94. Рис.1.3.19 д <http://www.catalogmineralov.ru/sample/1434.html>
95. Рис.1.3.19 е <http://all-minerals.ru/wp-content/uploads/2011/04/rogovik-600x250.jpg>
96. Рис.1.3.20 а <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Augen-gneiss-2.jpg>
97. Рис.1.3.20 б <http://www.photoukraine.com/i/articles/Zheleznaia%20Ruda%20Photos/010.jpg>
98. Рис.1.3.20 в <http://en.academic.ru/pictures/enwiki/71/GLMsed.jpg>
99. Рис.1.3.20 г [http://irkipedia.ru/sites/default/files/2\\_5\\_4\\_3.jpg](http://irkipedia.ru/sites/default/files/2_5_4_3.jpg)
100. Рис.1.3.20 д [http://i.haqqin.az/108844\\_src.jpg](http://i.haqqin.az/108844_src.jpg)
101. Рис.1.3.20 е <http://www.catalogmineralov.ru/mineral/skarn.html>
102. Рис.1.3.21 а <http://k46.kn3.net/taringa/6/F/7/C/B/E/FabianTomasi/B01.jpg>
103. Рис.1.3.21 б [http://i.marktplaats.com/00/s/NTM5WDcyNg==/\\$\(KGrHqRHJEkFC\(6JS39GBQpRZPvouQ~~60\\_85.JPG](http://i.marktplaats.com/00/s/NTM5WDcyNg==/$(KGrHqRHJEkFC(6JS39GBQpRZPvouQ~~60_85.JPG)
104. Рис.1.3.21 в <https://www.proza.ru/pics/2011/06/07/529.jpg>
105. Рис.1.3.21 г <http://2.bp.blogspot.com/fTcndu4mlj4/UO6upu4X5rI/AAAAAAAAAE68/2AIwA7qWyg/s1600/Taj%2BMahal%2BWallpaper%2B05.jpg>
106. Рис.1.3.21 д <http://dozor.kharkov.ua/content/documents/11611/1161080/thumb-big-420x305-8bd9.jpg>
107. Рис.1.3.21 е [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сумська\\_вулиця\\_\(Харків\)#/media/File:%D0%9F%D0%B0%D0%BC%27%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%83\\_%D0%9E.%D0%9C.%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%83\\_%D0%B2\\_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96.jpg](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сумська_вулиця_(Харків)#/media/File:%D0%9F%D0%B0%D0%BC%27%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%83_%D0%9E.%D0%9C.%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%83_%D0%B2_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96.jpg)
108. Рис.1.2.6 а <http://pro-kamni.ru/wp-content/uploads/2011/11/Islandskiy-shpat.jpg>
109. Рис.1.2.6 б <https://en.wikipedia.org/wiki/Carminite>
110. Рис.1.2.6 в <http://www.chinaneolithic.com/MineralPhoto/EN/100/20128101639395671.jpg>
111. Рис.1.2.6 г [http://khrulev.ucoz.ru/\\_si/0/10904844.jpg](http://khrulev.ucoz.ru/_si/0/10904844.jpg)
112. Рис.1.2.6 д <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Uraninite-39029.jpg>
113. Рис.1.2.7 <http://pubpages.unh.edu/~harter/Tetra2.gif>
114. Рис.1.2.8 [http://www.krugosvet.ru/images/1011871\\_1871\\_301.gif](http://www.krugosvet.ru/images/1011871_1871_301.gif)
115. Рис.1.2.9 [http://bilder.afterbuy.de/images/NPNWRQ/00\\_40080\\_Zeolite.jpg](http://bilder.afterbuy.de/images/NPNWRQ/00_40080_Zeolite.jpg)
116. Рисунок 1.4.1 [http://geology.lnu.edu.ua/phis\\_geo/Intersting%20about%201-practice/About%20practices/Practices\\_ua/History%20of%20life/Evolution%20Earth/Earth\\_04/005.jpg](http://geology.lnu.edu.ua/phis_geo/Intersting%20about%201-practice/About%20practices/Practices_ua/History%20of%20life/Evolution%20Earth/Earth_04/005.jpg)

#### Ссылки на рисунки к главе 1.4.

117. Рисунок 1.4.2 <http://bunteerde.planeterde.de/Members/ruben/tiere-und-natur/650-millionen-jahre-alt/schwamm.jpg>
118. Рисунок 1.4.3 [http://img-fotki.yandex.ru/get/4426/139679944.8/0\\_5e617\\_e93f2e70\\_XL](http://img-fotki.yandex.ru/get/4426/139679944.8/0_5e617_e93f2e70_XL)
119. Рисунок 1.4.4 [http://archaeology.kiev.ua/imaginators/new/4ee8d0f02cdad\\_image007.jpg](http://archaeology.kiev.ua/imaginators/new/4ee8d0f02cdad_image007.jpg)
120. Рисунок 1.4.5 [http://www.mukachevo.net/Content/img/news/p\\_53145\\_2\\_gallerybig.jpg](http://www.mukachevo.net/Content/img/news/p_53145_2_gallerybig.jpg)
121. Рисунок 1.4.6 <http://media.web.britannica.com/eb-media/57/140557-004->
122. Рисунок 147 [http://g.api.no/obscura/API/image/r1/escenic/978x1200r/1242755962/archive/02605/ida-link-2\\_2605578a.jpg](http://g.api.no/obscura/API/image/r1/escenic/978x1200r/1242755962/archive/02605/ida-link-2_2605578a.jpg)
123. Рисунок 1.4.8 [http://storage1.tvidi.com/MyWorld/Users/e/f/1/489865\\_130830827285253384804\\_Original.png](http://storage1.tvidi.com/MyWorld/Users/e/f/1/489865_130830827285253384804_Original.png)
124. Рисунок 1.4.9 <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01.jpg>

125. Рисунок 1.4.10 <http://ppt4web.ru/images/1152/28782/310/img1.jpg>

#### Ссылки на рисунки к главе 2.1

126. Рисунок 2.1.1 [http://cs5.pikabu.ru/images/big\\_size\\_comm/2015-12\\_3/1449927286172734515.png](http://cs5.pikabu.ru/images/big_size_comm/2015-12_3/1449927286172734515.png)  
127. Рисунок 2.1.2 <http://plate-tectonic.narod.ru/image44w.gif>  
128. Рисунок 2.1.3 [http://debri.ru/uploads/posts/2011-03/1299650944\\_40.jpg](http://debri.ru/uploads/posts/2011-03/1299650944_40.jpg)  
129. Рисунок 2.1.4 <http://it.wallpaperswiki.org/wallpapers/2012/10/Beautiful-Lago-Baikal-485x728.jpg>  
130. Рисунок 2.1.5 <http://photography.nationalgeographic.com/wallpaper/photography/photos/best-wallpapers-2010/snow-veiled-peaks/>  
131. Рисунок 2.1.6 [http://lib.znate.ru/pars\\_docs/refs/212/211034/211034\\_html\\_m9487413.png](http://lib.znate.ru/pars_docs/refs/212/211034/211034_html_m9487413.png)  
132. Рисунок 2.1.7 [http://chinese.eurekalert.org/00/multimedia/pub/web/374\\_web.jpg](http://chinese.eurekalert.org/00/multimedia/pub/web/374_web.jpg)  
133. Рисунок 2.1.8 [http://kaz2.docdat.com/pars\\_docs/refs/140/139872/139872\\_html\\_m66ddaf84.jpg](http://kaz2.docdat.com/pars_docs/refs/140/139872/139872_html_m66ddaf84.jpg)  
134. Рисунок 2.1.9 <http://biofile.ru/geo/23218.html>  
135. Рисунок 2.1.10 [http://phototour.pro/kcfinder/upload/images/Max/Zanskar/Near\\_Padum\\_Zanskar.jpg](http://phototour.pro/kcfinder/upload/images/Max/Zanskar/Near_Padum_Zanskar.jpg)  
136. Рисунок 2.1.11 <http://biofile.ru/geo/23218.html>  
137. Рисунок 2.1.12 [http://geo.sfedu.ru/ucheb/files/obgeol/teoria/disl/skl\\_osi.gif](http://geo.sfedu.ru/ucheb/files/obgeol/teoria/disl/skl_osi.gif)  
138. Рисунок 2.1.13 <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/SynclineCalico.JPG/960px-SynclineCalico.JPG>  
139. Рисунок 2.1.14 [http://www.studfiles.ru/html/2706/746/html\\_2IUZ0135hE.CG9A/htmlconvd-NvozU4\\_html\\_m766ca70b.png](http://www.studfiles.ru/html/2706/746/html_2IUZ0135hE.CG9A/htmlconvd-NvozU4_html_m766ca70b.png)  
140. Рисунок 2.1.15 <http://kafgeo.igpu.ru/web-text-books/geology/fig20-6.jpg>  
141. Рисунок 2.1.16 <http://i.imgur.com/AbdTfxz.jpg>  
142. Рисунок 2.1.17 <http://wildtraveler.com.ua/trash/statica/505/000033.JPG>

#### Ссылки на рисунки к главе 2.2

143. Рисунок 2.2.1 [http://www.auburn.edu/academic/science\\_math/res\\_area/geology/camp/Fissure1.jpg](http://www.auburn.edu/academic/science_math/res_area/geology/camp/Fissure1.jpg)  
144. Рисунок 2.2.2 [http://wallaroo.ru/wp-content/uploads/2014/04/Kilimanjaro\\_paulshaffner-1024x648.jpg](http://wallaroo.ru/wp-content/uploads/2014/04/Kilimanjaro_paulshaffner-1024x648.jpg)  
145. Рисунок 2.2.3 [http://bluesparrowtravel.com/wp-content/uploads/2013/09/19493228\\_xxl.jpg](http://bluesparrowtravel.com/wp-content/uploads/2013/09/19493228_xxl.jpg)  
146. Рисунок 2.2.4 Карта <http://people.eku.edu/davisb/Geo100/EQmap.jpg>  
147. Рисунок 2.2.5 <http://traveltamed.com/wp-content/uploads/2013/03/Kilauea.jpg>  
148. Рисунок 2.2.6 <https://i.ytimg.com/vi/IB1WGjSyM0g/maxresdefault.jpg>  
149. Рисунок 2.2.7 <http://www.turkcebilgi.com/uploads/media/resim/maare.jpg>  
150. Рисунок 2.2.8 [http://www.photovolcanica.com/Pictures\\_V2/Picture\\_MS10\\_0717.html](http://www.photovolcanica.com/Pictures_V2/Picture_MS10_0717.html)  
151. Рисунок 2.2.9 [https://specialcollections.blog.lib.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2012/09/Y307E\\_19.jpg](https://specialcollections.blog.lib.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2012/09/Y307E_19.jpg)  
152. Рисунок 2.2.10 <http://scbist.com/blogs/admin/310-mon-pele-vydoh-preispodnei.html>  
153. Рисунок 2.2.11 [http://g.io.ua/img\\_aa/large/1655/54/16555401.jpg](http://g.io.ua/img_aa/large/1655/54/16555401.jpg)  
154. Рисунок 2.2.12 <https://i.ytimg.com/vi/XzMtpSzYERl/maxresdefault.jpg>  
155. Рисунок 2.2.13 <http://picaboom.ru/wp-content/gallery/118-vulkan/1.jpg>  
156. Рисунок 2.2.14 а <http://gethdwallpapers.pw/a-volcano-in-winter-alaska-wallpaper-82995/>  
157. Рисунок 2.2.14 б <http://vmestah.ru/wp-content/uploads/2014/09/Fourpeaked.jpg>  
158. Рисунок 2.2.14 в <http://www.zadumka.org/wp-content/uploads/2013/11/Фумарола-на-вулкане-Эбеко-Курильские-острова-25-метра.jpg>  
159. Рисунок 2.2.15 <http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/68/DSCN3788.JPG>  
160. Рисунок 2.2.16 <https://drscdn.500px.org/photo/101440025/m%3D2048/a47203938a2798a9f9cd78324190aef0>  
161. Рисунок 2.2.17 [http://ref.rushkolnik.ru/docs/39/38868/38868\\_html\\_3dbc1c1d.gif](http://ref.rushkolnik.ru/docs/39/38868/38868_html_3dbc1c1d.gif)  
162. Рисунок 2.2.18 <http://geomasters.ru/wp-content/uploads/2012/09/image3.png>  
163. Рисунок 2.2.19 <http://azerbaijan.travel/upload/Image/p1.jpg>  
164. Рисунок 2.2.20 <http://www.doroga.ua/Handlers/ContentImageHandler.ashx?ReportImageReportID=665&Size=Big&FileName=P1230471.JPG>  
165. Рисунок 2.2.21 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e6/Home\\_sunk\\_by\\_mud\\_flow.JPG/1280pxHome\\_sunk\\_by\\_mud\\_flow.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e6/Home_sunk_by_mud_flow.JPG/1280pxHome_sunk_by_mud_flow.JPG)  
166. Рисунок 2.2.21 <http://www.foxnews.com/scitech/2011/02/25/indonesian-mud-volcano-erupt-quarter-century/>



### Ссылки на рисунки к главе 2.3

167. Рисунок 2.3.1 <https://beckchris.files.wordpress.com/2014/11/lisbon-earthquake.jpeg>  
168. Рисунок 2.3.2 а <http://www.lcdzj.cn/UploadFiles/2010727171246876.jpg>  
169. Рисунок 2.3.2 б [http://www.lindagall.com/petit\\_disasters/large/Earthquake-in-Tangshan.jpg](http://www.lindagall.com/petit_disasters/large/Earthquake-in-Tangshan.jpg)  
170. Рисунок 2.3.3 <https://104fahrenheit.files.wordpress.com/2011/03/japon.jpg>  
171. Рисунок 2.3.4 <https://i.ytimg.com/vi/0ArOyoGhXHc/maxresdefault.jpg>  
172. Рисунок 2.3.5 а <http://a.bimg.dk/node-images/939/3/2200x/3939349-thailand-quake.jpg>  
173. Рисунок 2.3.5 б <http://lawarn.org/wp-content/uploads/2015/12/Earthquake-USGS.jpg>  
174. Рисунок 2.3.6 [http://media.meltyxtrem.fr/article-2692325-ajust\\_930-fl429963288/avalanches-meurtrieres.jpg](http://media.meltyxtrem.fr/article-2692325-ajust_930-fl429963288/avalanches-meurtrieres.jpg)  
175. Рисунок 2.3.7 <http://www.link2universe.net/wp-content/uploads/2013/04/dati-epicentri.jpg>  
176. Рисунок 2.3.8 <http://textarchive.ru/images/1284/2567475/62cf2cd4.gif>  
177. Рисунок 2.3.9 <http://allthingsoflife.com/wp-content/uploads/2015/04/Lake-Mead-Drought-2-1024x685.jpg>  
178. Рисунок 2.3.10 <http://2.bp.blogspot.com/-boD2hZT1m1A/Tnina2NaWRI/AAAAAAAAAZ4/jrZyhpoXdxI/s1600/SedanCrater.jpg>  
179. Рисунок 2.3.11 [http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-a\\_ukraina.jpg](http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-a_ukraina.jpg)  
180. Рисунок 2.3.12 [http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-b\\_ukraina.jpg](http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-b_ukraina.jpg)  
181. [http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-c\\_ukraina.jpg](http://seismos-u.ifz.ru/personal/photogallery/ocp-c_ukraina.jpg)

### Ссылки на рисунки к главе 3.1

182. Рисунок 3.1.1 [http://www.latvia.travel/sites/default/files/styles/slide/public/tourism\\_sight/15379-raganu\\_katls2.jpg?itok=xnDO\\_n7-](http://www.latvia.travel/sites/default/files/styles/slide/public/tourism_sight/15379-raganu_katls2.jpg?itok=xnDO_n7-)  
183. Рисунок 3.1.2 Инженерная геология: Учеб. Для строит спец вузов/ В.П. Ананьев, А.Д.Потапов.- М.: Высш. шк., 2005. - 575  
184. Рисунок 3.1.3 [http://st2.stpulscen.ru/images/product/043/522/490\\_big.jpg](http://st2.stpulscen.ru/images/product/043/522/490_big.jpg) Суффозия в котловане  
185. Рисунок 3.1.4 Фото из архива автора  
186. Рисунок 3.1.5 <http://skachatkartinki.ru/img/picture/Sep/21/13f26c620db1c74bd94501eb1aa38864/2.jpg> суф Самара  
187. Рисунок 3.1.6 [http://cs624128.vk.me/u7631312/video/x\\_c2a10d75.jpg](http://cs624128.vk.me/u7631312/video/x_c2a10d75.jpg) Одесса  
188. Рисунок 3.1.7 а, б, в <http://autonews.autoua.net/media/cache/32/1d/321d22b9a2106a9ba3a2b40036c630bb.jpg> ЯМЫ В КИЕВЕ  
189. <http://image.tsn.ua/media/images2/original/Mar2013/383755255.jpg> яма в Киеве  
190. [http://survincity.com/wp-content/uploads/images/mid\\_80525.jpg](http://survincity.com/wp-content/uploads/images/mid_80525.jpg) суффозия киев  
191. Рисунок 3.1.8 <http://sprosigeologa.ru/inzhenernye-izyskaniya/suffoziya/>

### Ссылки на рисунки к главе 3.2

192. Рисунок 3.2.1 <http://arounddeglobe.com/caves-three-bridges-baatara-gorge-waterfall/>  
193. Рисунок 3.2.2 [http://flatrock.org.nz/static/frontpage/large\\_world\\_karst\\_map.jpg](http://flatrock.org.nz/static/frontpage/large_world_karst_map.jpg)  
194. Рисунок 3.2.3 [http://biblioclub.ru/services/fks.php?fks\\_action=get\\_file&fks\\_flag=2&fks\\_id=geologich\\_slovar\\_img\\_images\\_987.jpg](http://biblioclub.ru/services/fks.php?fks_action=get_file&fks_flag=2&fks_id=geologich_slovar_img_images_987.jpg)  
195. Рисунок 3.2.4 <https://classconnection.s3.amazonaws.com/497/flashcards/230497/jpg/karst1352432939857.jpg>  
196. 2939857.jpg  
197. Рисунок 3.2.5 <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/5498504.jpg>  
198. Рисунок 3.2.6 <http://i0.wp.com/www.geziko.com/blog/wp-content/uploads/2015/03/karst.gif?zoom=1.5&resize=570%2C340>  
199. 1.5&resize=570%2C340  
200. Рисунок 3.2.7 <http://peshera.org/khrono/Fotos-18/foto-154.jpg>  
201. Рисунок 3.2.8 [http://img-fotki.yandex.ru/get/6430/137106206.307/0\\_be36a\\_35ca6a86\\_orig.jpg&imgrefurl=http://infoglaz.ru/?p=19599&h=801&w=1200&tbnid=u\\_gqQ7dGfJnlM&zoom=1&tbnh=183&tbnw=275&usq=\\_\\_tf\\_cXV1b2GKhqbqhUjwoeJ2Wrc8=](http://img-fotki.yandex.ru/get/6430/137106206.307/0_be36a_35ca6a86_orig.jpg&imgrefurl=http://infoglaz.ru/?p=19599&h=801&w=1200&tbnid=u_gqQ7dGfJnlM&zoom=1&tbnh=183&tbnw=275&usq=__tf_cXV1b2GKhqbqhUjwoeJ2Wrc8=)  
202. Рисунок 3.2.9 а [https://lh3.googleusercontent.com/f3soQlGIYBnw97BMvfNuD-sSAcafu8qqD2kUVc4m2eJVwsl1jRIhjc04nXmey8qw98N\\_CA=s170](https://lh3.googleusercontent.com/f3soQlGIYBnw97BMvfNuD-sSAcafu8qqD2kUVc4m2eJVwsl1jRIhjc04nXmey8qw98N_CA=s170)  
203. c4m2eJVwsl1jRIhjc04nXmey8qw98N\_CA=s170  
204. Рисунок 3.2.9 б <https://lh4.googleusercontent.com/-ZSfzPkGwZu0/U37tIr6vTWI/AAAAAAAAACjA/8kLOVbMesWQ/w1372-h2048/2220507-1304-rec.jpg>

205. Рисунок 3.2.9, в [http://img.index.hu/imgfrm/0/5/2/9/BIG\\_0012910529.jpg](http://img.index.hu/imgfrm/0/5/2/9/BIG_0012910529.jpg)
206. Рисунок 3.2.10 а <http://fs00.infourok.ru/images/doc/113/132872/img27.jpg>
207. Рисунок 3.2.10 б [http://kolokray.com/pic/attraction/upload/features/39201359111028/new\\_1.jpg](http://kolokray.com/pic/attraction/upload/features/39201359111028/new_1.jpg)
208. Рисунок 3.2.10 в [http://odb.te.ua/old/userfiles/Optym\\_pechera1.jpg](http://odb.te.ua/old/userfiles/Optym_pechera1.jpg)
209. Рисунок 3.2.11 <http://1.bp.blogspot.com/-VZWqzO2zYmE/Typxxhc1raI/AAAAAAAAAtvo/ICzKqUzjkYU/s640/27.jpg>; <http://bigpicture.ru/?p=564778> Ордынская
210. Рисунок 3.2.12 [http://www.mo43.ru/uploads/images/Gallery/Shkolnye/Kungur/kengurcave\\_bug\\_thumb\\_04.jpg](http://www.mo43.ru/uploads/images/Gallery/Shkolnye/Kungur/kengurcave_bug_thumb_04.jpg)

#### Ссылки на рисунки к главе 3.3

211. Рисунок 3.3.1 <http://scorcher.ru/glaciology/1.files/image002.jpg>
212. Рисунок 3.3.2 <http://uslide.ru/images/21/27684/960/img11.jpg>
213. Рисунок 3.3.3 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Solifluktion\\_Girlande.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Solifluktion_Girlande.JPG)
214. Рисунок 3.3.4 <http://www.photoukraine.com/i/articles/Srednerusskaia%20Vozvyshennost%20Photos/011.jpg>
215. 20Photos/011.jpg
216. Рисунок 3.3.5 [http://sfw.so/uploads/posts/2012-07/1342324016\\_11.jpg](http://sfw.so/uploads/posts/2012-07/1342324016_11.jpg)
217. Рисунок 3.3.6 <http://blog.stanis.ru/img/62345.jpg>
218. Рисунок 3.3.7 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Terril\\_Loos-en-Gohelle\\_2006-01-14.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Terril_Loos-en-Gohelle_2006-01-14.jpg)
219. Рисунок 3.3.8,10.9 [http://girnyk.dn.ua/news/rejting\\_samykh\\_izvestnykh\\_terrikonov\\_donecka\\_foto/2013-04-18-2343](http://girnyk.dn.ua/news/rejting_samykh_izvestnykh_terrikonov_donecka_foto/2013-04-18-2343)
220. Рисунок 3.3.10 <http://pics2.pokazuha.ru/p442/b/o/7651478fob.jpg>
221. Рисунок 3.3.11 <http://www.nguyenkhapnoi.com/files/2013/02/notpainting9.jpg>
222. Рисунок 3.3.12 [http://slidepedia.net/u/storage/ppt\\_6293/13b0d-1393956302-09.jpg](http://slidepedia.net/u/storage/ppt_6293/13b0d-1393956302-09.jpg)
223. Рисунок 3.3.13 [http://rudocs.exdat.com/data/57/56101/56101\\_html\\_m1af3c9ae.png](http://rudocs.exdat.com/data/57/56101/56101_html_m1af3c9ae.png)
224. Рисунок 3.3.14 [http://tvoikinomir.ru/uploads/posts/2010-03/1268748447\\_006.jpg](http://tvoikinomir.ru/uploads/posts/2010-03/1268748447_006.jpg)
225. Рисунок 3.3.15 [http://bam.railways.ru/tonnels/\\_misovie\\_vid\\_1.jpg](http://bam.railways.ru/tonnels/_misovie_vid_1.jpg)
226. Рисунок 3.3.16 [http://tribalteaehing.org/wp-content/uploads/2015/10/three-zinnen-176000\\_1280.jpg](http://tribalteaehing.org/wp-content/uploads/2015/10/three-zinnen-176000_1280.jpg)
227. Рисунок 3.3.17 <http://i044.radikal.ru/0910/6a/711ed135db8d.jpg>
228. Рисунок 3.3.18 [http://nn.mk.ru/upload/iblock\\_mk/475/d6/a0/9c/DETAIL\\_PICTURE\\_768485\\_12943042.jpg](http://nn.mk.ru/upload/iblock_mk/475/d6/a0/9c/DETAIL_PICTURE_768485_12943042.jpg)
229. Рисунок 3.3.19 [http://ic.pics.livejournal.com/bela\\_shapka/67469000](http://ic.pics.livejournal.com/bela_shapka/67469000)

#### Ссылки на рисунки к главе 3.4

230. Рисунок 3.4.1 [http://images.myshared.ru/6/556679/slide\\_13.jpg](http://images.myshared.ru/6/556679/slide_13.jpg)
231. Рисунок 3.4.2 а – [http://yourcracy.com/uploads/news/1315\\_1\\_b.jpg](http://yourcracy.com/uploads/news/1315_1_b.jpg)
232. Рисунок 3.4.2 б <http://vz.ua/static/image/big/1373370890.jpg>
233. Рисунок 3.4.3 а – фото из архива автора
234. Рисунок 3.4.3 б – <http://cdn.kme.si/public/images-cache/750xX/2014/01/17/87aaf67b8ff4de5e38ed1bef1173d605/52d93be5e4e63/87aaf67b8ff4de5e38ed1bef1173d605.jpeg>
235. Рисунок 3.4.4 а - фото из архива автора;
236. Рисунок 3.4.4 б- [http://cdn.trend.az/media/pictures/2015/11/12/trend\\_surusme\\_141212.jpg](http://cdn.trend.az/media/pictures/2015/11/12/trend_surusme_141212.jpg)
237. Рисунок 3.4.5 а -<http://photoshare.ru/photo8597083.html>;
238. Рисунок 3.4.5 б - <http://fototerra.ru/image.html?id=72075&size=medium>
239. Рисунок 3.4.6 а <http://foto.nedoma.ru/showphoto.php/photo/49380> (сайт закрыт);
240. Рисунок 3.4.6 б - [http://planeta.moy.su/news/kosmopoisk\\_izuchaet\\_anomalnyj\\_les\\_v\\_rjazanskoj\\_oblasti/2014-09-27-18180](http://planeta.moy.su/news/kosmopoisk_izuchaet_anomalnyj_les_v_rjazanskoj_oblasti/2014-09-27-18180) (сайт закрыт)
241. Рисунок 3.4.7 а <http://nbnews.com.ua/img/text/4e/15/b13793194793249.jpg>;
242. Рисунок 3.4.7 б -<http://photobank.sarbc.ru/photo/norm/023396.jpg>
243. Рисунок 3.4.8 а [http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2013/06/06/article-2337012-1A2DADE9000005DC-901\\_964x620.jpg](http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2013/06/06/article-2337012-1A2DADE9000005DC-901_964x620.jpg)
244. Рисунок 3.4.8 б <http://forum.poleshift.ru/viewtopic.php?p=13878>
245. Рисунок 3.4.9, <http://www.studmed.ru/docs/static/f/3/3/c/3/f33c39f8891.png>

246. Рисунок 3.4.10 <http://www.studmed.ru/docs/static/a/0/1/b/d/a01bdb70721.jpg>. В.П.Ананьев, А.Д.Потапов. Инженерная геология. Москва. «Высшая школа» 2006г.
247. Рисунок 3.4.11 <http://rusevik.ru/fotolenta/70856-ogromnyy-opolzen-v-afganistane.html>
248. Рисунок 3.4.12 а <https://batt.su/images/2015/01.15/epic/08/84407697.jpg>
249. Рисунок 3.4.12 б [http://misterq.myblog.ws/files/2012/12/foto-novosti-28-aprel-2010\\_2.jpg](http://misterq.myblog.ws/files/2012/12/foto-novosti-28-aprel-2010_2.jpg)
250. Рисунок 3.4.13 <http://coloradogeologicalsurvey.org/wp-content/uploads/2013/08/slumgullion%20usgs.jpg>
251. Рисунок 3.4.14 а <http://www.photosbyrikki.com/wp-content/uploads/2013/06/HWkVQ92.jpg>
252. Рисунок 3.4.14 б <http://i.invivio.net/1/444719/gallery/756408.jpg>
253. Рисунок 3.4.14 в [http://www.rusrep.ru/images/photo/1365988732241292\\_big\\_photo.jpeg](http://www.rusrep.ru/images/photo/1365988732241292_big_photo.jpeg)
254. [http://globalfinance.zenfs.com/images/US\\_AHHTTP\\_AP\\_FINANCIALTIMES/1d88cdbc9ee6a30e300f6a7067003341\\_original.jpg](http://globalfinance.zenfs.com/images/US_AHHTTP_AP_FINANCIALTIMES/1d88cdbc9ee6a30e300f6a7067003341_original.jpg)

#### Ссылки на рисунки к главе 3.5

255. Рисунок 3.5.1 [https://pastvu.com/\\_p/a/2/s/y/2syf788zhdb7aa6lir.jpg](https://pastvu.com/_p/a/2/s/y/2syf788zhdb7aa6lir.jpg)
256. Рисунок 3.5.2 а <http://lenta.ru/russia/2000/07/20/sel/>
257. Рисунок 3.5.2 б <http://www.funlib.ru/cimg/2014/101618/3945329>
258. Рисунок 3.5.2 в [http://news.bbc.co.uk/media/images/46067000/jpg/\\_46067626\\_007656763-1.jpg](http://news.bbc.co.uk/media/images/46067000/jpg/_46067626_007656763-1.jpg)
259. Рисунок 3.5.3 <http://s177.photobucket.com/user/homaaxel/media/second/S6002314.jpg.html>
260. Рисунок 3.5.4 [https://s3.amazonaws.com/classconnection/819/flashcards/9010819/jpg/msh82\\_lahar\\_from\\_march\\_82\\_eruption\\_03-21-82-150F9CE3C7F1A3B707F.jpg](https://s3.amazonaws.com/classconnection/819/flashcards/9010819/jpg/msh82_lahar_from_march_82_eruption_03-21-82-150F9CE3C7F1A3B707F.jpg)
261. Рисунок 3.5.5 <http://static.inilah.com/data/berita/foto/1295412.jpg>
262. Рисунок 3.5.6 [http://1.bp.blogspot.com/-Rn28A9fwuO8/TevSA1IcyhI/AAAAAAAAAFfQ/4FoOClzFOSs/s1600/Galunggung\\_lahar.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-Rn28A9fwuO8/TevSA1IcyhI/AAAAAAAAAFfQ/4FoOClzFOSs/s1600/Galunggung_lahar.jpg)
263. Рисунок 3.5.7 [http://blogs.afp.com/english/public/colombia/Armero\\_30th\\_anniversary/colombie-armero-01\\_m.jpg](http://blogs.afp.com/english/public/colombia/Armero_30th_anniversary/colombie-armero-01_m.jpg)
264. Рисунок 3.5.8 <http://fs1.ppt4web.ru/images/95236/135375/640/img19.jpg>
265. Рисунок 3.5.9 а <http://5.darkroom.shortlist.com/980/5fbd3b28db43c164e112d4faaa338d31:209a2d70c53f5e8ef7481de712cfce4e/painful-beginnings>
266. Рисунок 3.5.9 б [http://image.3bmeteo.com/images/newarticles/w\\_1280/332f0408ee8a569de17c4c691b266ce1\\_pericolo\\_valanghe.jpg](http://image.3bmeteo.com/images/newarticles/w_1280/332f0408ee8a569de17c4c691b266ce1_pericolo_valanghe.jpg)
267. Рисунок 3.5.10 <http://www.karpaty.com.ua/?chapter=5&item=170>
268. Рисунок 3.5.11 [http://www.bigmountain.ru/bigmountain.ru/www/bm-ru-content/uploads/000001551\\_2\\_0.jpg](http://www.bigmountain.ru/bigmountain.ru/www/bm-ru-content/uploads/000001551_2_0.jpg)
269. Рисунок 3.5.12 из архива автора
270. Рисунок 3.5.13 <http://www.newsrus.ru/catalogs/main/images/1379915232.jpg>

#### Ссылки на рисунки к главе 3.6

271. Рисунок 3.6.1а <http://viralist.club/upload/media/entries/2015-11/13/173-6-7a1fe7db6d9029360f197ed05b7d88df.jpg>
272. Рисунок 3.6.1б [http://www.slavyanskaya-kultura.ru/images/16\(152\).jpg](http://www.slavyanskaya-kultura.ru/images/16(152).jpg)
273. Рисунок 3.6.2 <http://imageweb-cdn.magnoliasoft.net/nhmwpoty/supersize/nathis140.jpg>
274. Рисунок 3.6.3 <http://www.liveinternet.ru/users/andrrr/post207944822/>
275. Рисунок 3.6.4 а [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/Wind\\_erosion\\_Seminole\\_Canyon.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/Wind_erosion_Seminole_Canyon.JPG)
276. Рисунок 3.6.4 б <http://static.panoramio.com/photos/large/75051544.jpg>
277. Рисунок 3.6.5, 3.6.6, 3.6.7 Белая пустыня <http://ipola.ru/journalshowcomments.php?jpostid=285737687&journalid=2835299&go=prev&categ=0>
278. Рисунок 3.6.8 <https://d27v8envyltg3v.cloudfront.net/mio/43659220/14453773496771/large.jpg>
279. Рисунок 3.6.9 <http://avivas.ru/img/news/201301/60618975245.jpg>
280. Рисунок 3.6.10 [http://assets.nydailynews.com/polopoly\\_fs/1.16046!/img/httpImage/image.jpg\\_gen/derivatives/gallery\\_1200/gal-sydney-sandstorm-12-jpg.jpg](http://assets.nydailynews.com/polopoly_fs/1.16046!/img/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/gallery_1200/gal-sydney-sandstorm-12-jpg.jpg)
281. Рисунок 3.6.11 [http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/18000/18049/med\\_amo\\_2007-055\\_lrg.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/18000/18049/med_amo_2007-055_lrg.jpg)



282. Рисунок 3.6.12 <http://img15.nnm.me/4/1/9/6/a/30ab11658f06791ee79f588b5d5.jpg>  
 283. Рисунок 3.6.13 <http://www.fdrsuite.org/IMAGES/CENTER%20IMAGES/dustbowl.jpg>  
 284. Рисунок 3.6.14 <http://www.geonature.ru/geoslov/img/292.jpg>

#### Ссылки на рисунки к главе 3.7

285. Рисунок 3.7.1 <http://www.verfotosde.org/venezuela/imagenes-de-Agua-de-Hierro-16488.html>  
 286. Рисунок 3.7.2 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Soil\\_Erosion\\_With\\_Roots.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Soil_Erosion_With_Roots.JPG)  
 287. Рисунок 3.7.3 [http://star-a77.narod.ru/2011/Tenerife/slides/IMG\\_2717.html](http://star-a77.narod.ru/2011/Tenerife/slides/IMG_2717.html)  
 288. Рисунок 3.7.4 [http://www.imk-ifu.kit.edu/img/1\\_IM\\_water\\_erosion\\_rdx\\_1200x900.jpg](http://www.imk-ifu.kit.edu/img/1_IM_water_erosion_rdx_1200x900.jpg)  
 289. Рисунок 3.7.5 а [http://4.bp.blogspot.com/-Bto2hSLlexo/UVz6xNjC5eI/AAAAAAAAABc/K\\_R00koqvqQ/s1600/carved-gully.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-Bto2hSLlexo/UVz6xNjC5eI/AAAAAAAAABc/K_R00koqvqQ/s1600/carved-gully.jpg)  
 290. Рисунок 3.7.5 б <http://100-bal.ru/geografiya/5747/index.html?page=3>  
 291. Рисунок 3.7.5 в <http://2.bp.blogspot.com/-Ba70fq5vjMQ/Vb3YtNpQbII/AAAAAAAAADYw/pRj-RXmVfe7g/s1600/Soil-soil-toil-and-trouble.jpg>  
 292. Рисунок 3.7.5 г <http://100-bal.ru/geografiya/5747/index.html?page=3>  
 293. Рисунок 3.7. 6 а <http://www.gorod.dp.ua/photo/fullpic.php?id=17095>  
 294. Рисунок 3.7.6 б <http://gorod.dp.ua/photo/usergorod/2010/04/19/52489.jpg>  
 295. Рисунок 3.7.7 а <http://www.photosight.ru/photos/4160168/>  
 296. Рисунок 3.7.7 б <http://a-lapin.narod.ru/Photo/ovrag1.jpg>  
 297. Рисунок 3.7.8 [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Балабановка\\_овраг\\_VizuIMG\\_4290.-JPG?uselang=ru](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Балабановка_овраг_VizuIMG_4290.-JPG?uselang=ru)  
 298. Рисунок 3.7.9 [http://api.ning.com/files/iHEPvF-SV1lfSYcpZfKkoe89n3Z\\*btdsLtr-8BtCSVI3IwcZ-K0vF9J7GTjpp8u0ajYFYsajnJt6GZb0EuQAdUjJi\\*iNyP/1.jpeg](http://api.ning.com/files/iHEPvF-SV1lfSYcpZfKkoe89n3Z*btdsLtr-8BtCSVI3IwcZ-K0vF9J7GTjpp8u0ajYFYsajnJt6GZb0EuQAdUjJi*iNyP/1.jpeg)

#### Ссылки на рисунки к главе 3.8

299. Рисунок 3.8.1 <http://s1.hostingkartinok.com/uploads/images/2012/02/99eabba54d3b1a45577b3a21b5a3024c.jpg>  
 300. Рисунок 3.8.2 [http://1.bp.blogspot.com/-jRJWT\\_eL62w/TdLN2FX9jJI/AAAAAAAAAWA/-nrVCike1Bmc/s1600/ca1.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-jRJWT_eL62w/TdLN2FX9jJI/AAAAAAAAAWA/-nrVCike1Bmc/s1600/ca1.jpg)  
 301. Рисунок 3.8.3 [http://img1.liveinternet.ru/images/attach/c/7/98/641/98641941\\_large\\_3.jpg](http://img1.liveinternet.ru/images/attach/c/7/98/641/98641941_large_3.jpg)  
 302. Рисунок 3.8.4 <http://classconnection.s3.amazonaws.com/11/flashcards/99011/png/meandering.png>  
 303. Рисунок 3.8.5 [http://www.samper.pl/tryptyk\\_educacyjny/tom1/tr-edu-sc16-wte-1-130-meandry.jpg](http://www.samper.pl/tryptyk_educacyjny/tom1/tr-edu-sc16-wte-1-130-meandry.jpg)  
 304. Рисунок 3.8.6 Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. / учеб. для строит. спец. вуз., 3-е изд., перераб. и испр. — Москва.: Высш. шк., 2005. - 575 с. <http://demo.collectedpapers.com.ua/wp-content/uploads/2013/12/Безымянный17.jpg>  
 305. Рисунок 3.8.7 <http://slidespace.ru/show/1510> (сайт не работает)  
 306. Рисунок 3.8.8 Ананьев В. П., Потапов А. Д. Инженерная геология. / учеб. для строит. спец. вуз. / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. 3-е изд., перераб. и испр. — Москва. : Высш. шк., 2005. - 575 с. [http://www.studfiles.ru/html/2706/381/html\\_PJwepiwNZQ.DB6c/htmlconvd-4v5qY311x1.jpg](http://www.studfiles.ru/html/2706/381/html_PJwepiwNZQ.DB6c/htmlconvd-4v5qY311x1.jpg)  
 307. Рисунок 3.8.9 <http://www.glogster.com/jostrom/poster-glog-by-justin-ostrom-and-ronaldo-lopez-for-a-science-project/g-6lmkgbnu2i1bdtosrk95ha0>  
 308. Рисунок 3.8.10 <http://tfolk.ru/wp-content/uploads/2012/02/19.jpg>  
 309. Рисунок 3.8.11 Габион <http://slavrosgeos.ru/image/data/tehnich-resheniya/beregoukreptelniesoorujeniya.JPG>

#### Ссылки на рисунки к главе 3.9

311. Рисунок 3.9.1 [http://wfiles.brothersoft.com/i/ireland-cliffs-of-moher\\_107117-1600x1200.jpg](http://wfiles.brothersoft.com/i/ireland-cliffs-of-moher_107117-1600x1200.jpg) Утесы мохер  
 312. Рисунок 3.9.2 [http://frontierscientists.com/wp-content/uploads/2014/04/Thermokarst\\_Shoreline.jpg](http://frontierscientists.com/wp-content/uploads/2014/04/Thermokarst_Shoreline.jpg)  
 313. Рисунок 3.9.3 а [http://i1.trekearth.com/photos/24445/img\\_7359.jpg](http://i1.trekearth.com/photos/24445/img_7359.jpg)  
 314. Рисунок 3.9.3 б <http://i.imgur.com/NGYEU.jpg>  
 315. Рисунок 3.9.4 [http://k42.kn3.net/taringa/4/2/2/9/7/0/lolo\\_cai10/516.jpg?5946](http://k42.kn3.net/taringa/4/2/2/9/7/0/lolo_cai10/516.jpg?5946)  
 316. Рисунок 3.9.5 [http://41.media.tumblr.com/b7817476a8d4777f05b12919c642f612/tumblr\\_mr4uiuwuXn1qjvnc4o1\\_1280.jpg](http://41.media.tumblr.com/b7817476a8d4777f05b12919c642f612/tumblr_mr4uiuwuXn1qjvnc4o1_1280.jpg)  
 317. Рисунок 3.9.6 [http://41.media.tumblr.com/b7817476a8d4777f05b12919c642f612/tumblr\\_mr4uiuwuXn1qjvnc4o1\\_1280.jpg](http://41.media.tumblr.com/b7817476a8d4777f05b12919c642f612/tumblr_mr4uiuwuXn1qjvnc4o1_1280.jpg)

318. Рисунок 3.9.6 <https://www.flickr.com/photos/montuno/6111819085>  
319. Рисунок 3.9.7 [http://sinref.ru/000\\_uchebniki/01701gornoe\\_delo/001\\_injenernaia\\_Geologia\\_ananev/000/040.jpg](http://sinref.ru/000_uchebniki/01701gornoe_delo/001_injenernaia_Geologia_ananev/000/040.jpg)  
320. Рисунок 3.9.8 [https://wallpaperscraft.com/image/glacier\\_arch\\_iceberg\\_cold\\_14663\\_2048x2048.jpg](https://wallpaperscraft.com/image/glacier_arch_iceberg_cold_14663_2048x2048.jpg)  
321. Рисунок 3.9.9 <http://images.forwallpaper.com/files/images/7/7f90/7f900576/214225/a-roq-in-the-meadil-of-the-sea.jpg>  
322. Рисунок 3.9.10 <http://paradisetheworld.com/wp-content/uploads/2013/01/1680x1050-Cyprus-Seaside.jpg> (рис заменен)  
323. Рисунок 3.9.11 Тетраподы [http://www.studfiles.ru/html/2706/35/html\\_aKNWDpdcfs.kP0b/htmlconvd-PKmIpk\\_html\\_m4b979e69.jpg](http://www.studfiles.ru/html/2706/35/html_aKNWDpdcfs.kP0b/htmlconvd-PKmIpk_html_m4b979e69.jpg)  
324. Рисунок 3.9.12 [http://nostalgic.gallery/img/Raznoe/Aluwta\\_v\\_novogodnie\\_dni/P10164681294665510.jp](http://nostalgic.gallery/img/Raznoe/Aluwta_v_novogodnie_dni/P10164681294665510.jp)

#### Ссылки на рисунки к главе 3.10

325. Рисунок 3.10.1 [http://www.buroviki.ru/plyvuny\\_v\\_stroitelnyh\\_kotlovanah.html](http://www.buroviki.ru/plyvuny_v_stroitelnyh_kotlovanah.html)  
326. Рисунок 3.10.2 <https://www.flickr.com/photos/muss/2049396906/>  
327. Рисунок 3.10.3 Фото из архива автора  
328. Рисунок 3.10.4 [https://ru.wikipedia.org/wiki/Зыбучий\\_песок#mediaviewer/File:Quicksand-warning-sign-denmark-2010.jpg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Зыбучий_песок#mediaviewer/File:Quicksand-warning-sign-denmark-2010.jpg)  
329. Рисунок 3.10.5 [http://o.aolcdn.com/dims-shared/dims3/GLOB/legacy\\_thumbnail/800x450/format/jpg/-quality/85/http://www.blogcdn.com/www.autoblog.com/media/2009/11/cayman-norida.jpg](http://o.aolcdn.com/dims-shared/dims3/GLOB/legacy_thumbnail/800x450/format/jpg/-quality/85/http://www.blogcdn.com/www.autoblog.com/media/2009/11/cayman-norida.jpg)  
330. Рисунок 3.10.6 <http://ribalych.ru/wp-content/uploads/2013/10/813.jpg>  
331. Рисунок 3.10.7 <http://kievnews.glavcom.ua/media/o-00006717-n-00014261.jpg>  
332. Рисунок 3.10.8 [http://www.ljplus.ru/img3/e/m/ems\\_viking/stroit\\_20yagni.jpg](http://www.ljplus.ru/img3/e/m/ems_viking/stroit_20yagni.jpg)  
333. Рисунок 3.10.9 <http://people-of-art.ru/cimg/2014/102818/2016921>

#### Ссылки на рисунки к главе 3.11

334. Рисунок 3.11.1 Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учеб. для вуз. / Н. Н. Маслов. – Москва : Высш. шк., 1982. – 511 с.  
335. Рисунок 3.11.2 <https://seeingtheforestdotorg.files.wordpress.com/>  
336. Рисунок 3.11.3 <http://ecology-of.ru/wp-content/uploads/2014/08/geltaya-reka-china.jpg> (рис. заменен)  
337. Рисунок 3.11.4 [http://pwpt.ru/uploads/presentation\\_screenshots/818979983fdbfae9e7945275dd5fa410.JPG](http://pwpt.ru/uploads/presentation_screenshots/818979983fdbfae9e7945275dd5fa410.JPG)  
338. Рисунок 3.11.5 <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAYQjB0&url=http%3A%2F%2Fwww.photoukraine.com%2Fru%2Fphotos%2Fregion%2F4%2F4927&ei=F6FUVNv1JcbJPfGUgJgE&bvm=bv.78677474,d.ZWU&psig=AFQjCNEyEkvSC5bztTHOv48eAzmkjWO0cA&ust=1414918802911351>  
339. Рисунок 3.11.6. <http://vi.ill.in.ua/m/640x0/339125.jpg>  
340. Рисунок 3.11.7 [http://artkostyuk.com/wp-content/uploads/2010/11/99\\_2.jpg](http://artkostyuk.com/wp-content/uploads/2010/11/99_2.jpg)  
341. Рисунок 3.11.8 <http://www.gosthelp.ru/text/RekomendaciiRekomendaciip92.html>  
342. Рисунок 3.11.9 <http://prerek.ru/safia/rekomendacii-po-obsledovaniyu-i-ocenke-tehnicheskogsostoy-ani/19.png>  
343. Рисунок 3.11.9-3.11.14 [http://www.buildcalc.ru/\(S\(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55\)\)/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5](http://www.buildcalc.ru/(S(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55))/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5)  
344. Рисунок 3.11.15 <http://gid-str.ru/images/gidstr/2014/02/011.jpg>  
345. Рисунок 3.11.16-3.11.18 [http://www.buildcalc.ru/\(S\(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55\)\)/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5](http://www.buildcalc.ru/(S(k4gtvqavlcpur55vcw1ei55))/Learning/BasesAndFoundations/Open.aspx?id=Chapter10&part=5)

#### Ссылки на рисунки к обложке

346. Долина монументов, Аризона, США (фото 2015 г., Егупов Ю.В.)  
347. Щетка кристаллов гипса, Ново-Карфагенское месторождение каменной соли, Донецкая область, Украина (Егупов В.Ю.)  
348. Ледник Перито Морено, Национальный парк Лос-Гласьярес, Аргентина, (<https://focusphasselt.files.wordpress.com/2011/03/argentini.jpg>)

Ссылки на рисунки к главе 3.12

349. Рисунок 3.12.1 [http://referatdb.ru/pars\\_docs/refs/113/112272/112272\\_html\\_48edc028.png](http://referatdb.ru/pars_docs/refs/113/112272/112272_html_48edc028.png)
350. Рисунок 3.12.2 Камерштейн А. Г. Строительство трубопроводов в районах горных разработок. Москва, Стройиздат, 1976.
351. Рисунок 3.12.3 <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293801/4293801657.files/x025.jpg> СВОД ПРАВИЛ СП 21.13330.2012 ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91. Москва, 2012.
352. Рисунок 3.12.4 а [http://ru.fishki.net/picsw/012007/17/brazilmetro/01\\_brazilmetro\\_111768.jpg](http://ru.fishki.net/picsw/012007/17/brazilmetro/01_brazilmetro_111768.jpg)
353. Рисунок 3.12.4 б [http://ru.fishki.net/picsw/012007/17/brazilmetro/02\\_brazilmetro\\_105490.jpg](http://ru.fishki.net/picsw/012007/17/brazilmetro/02_brazilmetro_105490.jpg)



*Навчальне видання*

**ЄГУПОВ В'ячеслав Юрійович**

**КІЧАЄВА Оксана Володимирівна**

# ***ОСНОВИ ГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДИНАМІКИ***

*НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК*

(Рос. мовою)

Відповідальний за випуск *Г. М. Левенко*

Редактор *О. В. Михаленко*

*Дизайн обкладинки авторський*

Підп. до друку 23.10.2015 р.

Друк на ризографі

Тираж 60 пр.

Формат 60×90/8

Ум. друк. арк. 11

Зам. № 9897

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.